



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

**La realidad aumentada como medio de
visualización del modelo BIM en la
construcción**

Trabajo realizado por:

Gerardo Miguel Chavarri De Lemos

Dirigido por:

Ignacio Valero López

Francisco Javier Mora Serrano

Máster en:

Ingeniería Estructural y de la Construcción

Barcelona, febrero de 2018

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

Máster

Ingeniería Estructural y de la Construcción

Título

La realidad aumentada como medio de visualización del modelo BIM en la construcción

Autor

Gerardo Miguel Chavarri De Lemos

Tutor

Francisco Javier Mora Serrano
Ignacio Valero Lopez

Especialidad

Construcción

Departamento

Ingeniería Civil y Ambiental

Fecha

Febrero 2018

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis tutores Javier Mora e Ignacio Valero quienes me motivaron a investigar y aprender aquellas habilidades que hicieron posible este trabajo, además de brindarme su orientación y dedicación a todo lo largo de este proyecto.

También quiero agradecer al Centro Internacional de Métodos Numéricos (CIMNE) por permitirme usar sus instalaciones, y a COMSA por permitirme hacer realizar pruebas de campo en uno de sus proyectos.

También quiero agradecer a Oscar de Coss por haber compartido conmigo su experiencia con la realidad aumentada, la cual me sirvió como base para el inicio de este trabajo. Del mismo modo hago mención a mi compañera Jeniffer Nogales por brindarme su apoyo a lo largo de este trabajo.

Agradezco especialmente a Heloise Gonzalez quien me ha brindado todo su apoyo y se ha mantenido a mi lado durante toda esta experiencia de vida.

A mis abuelos quienes siempre han estado presentes y me han brindado sus consejos, experiencias y apoyo en aquellos momentos en que lo he necesitado.

Finalmente, agradezco a mis padres quienes ante toda dificultad y con mucho sacrificio me han brindado la oportunidad de vivir y consolidar esta experiencia.

Motivación

Vivimos en un tiempo de constante cambio en donde hemos experimentado el nacimiento y la evolución de nuevas tecnologías que de una u otra manera han cambiado el mundo. Estas nos han permitido superar nuevos retos y nos invita a ver más allá de nuestras limitaciones actuales. Esta constante superación de nuestras posibilidades y el aumento de la competencia en diferentes industrias han fomentado la continua investigación, desarrollo e implementación de nuevas tecnologías que impulsen a las empresas a aumentar su eficiencia, productividad y calidad al mismo tiempo que se reducen costos y tiempos de producción.

A lo largo de mi vida he experimentado con fascinación como el surgimiento y proliferación de tecnologías como el internet, los teléfonos inteligentes y la digitalización me han permitido aumentar mis capacidades en diversas áreas. Esto se convirtió en una pasión que me ha llevado a la búsqueda constante de descubrir las últimas innovaciones, aplicarlas en mi trabajo como ingeniero Civil y con ellas ir aumentando mis habilidades.

Fue entonces cuando cursando el máster de ingeniería estructural y de la construcción me encontré con un seminario en el que mostraban la visión de implementar la realidad virtual y aumentada en el sector de la construcción. En ese momento vi el potencial que esta tecnología tiene para ofrecer en mi profesión, al mismo tiempo que descubrí el Centro Internacional de Métodos Numéricos (CIMNE) como una plataforma que me ayudaría a introducirme en el tema.

De esta forma nace este trabajo con el objetivo de utilizar la tecnología de realidad aumentada como una herramienta de utilidad en el sector de la construcción.

Resumen

En los últimos años la metodología BIM se ha ido estableciendo como el próximo estándar para el diseño e ingeniería de proyectos de construcción. Gracias al proceso colaborativo, los modelos BIM contienen cada vez más información de importancia para la construcción de infraestructuras. Sin embargo, los documentos en papel generados para el área de trabajo no permiten visualizar toda la información generada. Esto representa una limitante en el aprovechamiento de esta información en la etapa de ejecución.

Por otro lado, la realidad aumentada ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años producto del avance tecnológico de los dispositivos móviles y la proliferación en el mercado de aplicaciones. Esta tecnología representa un potencial para la integración de información sobre el entorno físico, habiendo experimentado un éxito en industrias como el comercio electrónico, la educación y el entretenimiento en general.

En este trabajo de investigación se estudia la tecnología de realidad aumentada como un medio para llevar visualmente la información de los modelos BIM al área de trabajo. Para ello se desarrollan 4 demostradores para dispositivos iOS que hacen uso de la tecnología ARKit para visualizar y superponer elementos de interés de modelos BIM en el entorno físico. Finalmente se aborda un caso de estudio en el que se hace uso de la tecnología para plantear una solución a una problemática real en el proceso de inspección de armaduras pasivas en pilares de una obra.

Para la elaboración de este trabajo se hace uso del software de diseño tridimensional Revit para el manejo de los modelos BIM, el motor de videojuegos Unity para el desarrollo de las aplicaciones y los paquetes de desarrollo Vuforia y ARKit para la integración de la tecnología de realidad aumentada en estas aplicaciones. A nivel de dispositivos se hace uso de un iPhone 6s Plus como medio para el uso de las aplicaciones.

Palabras clave: Realidad aumentada (RA), Building Information Modeling (BIM), ARKit, Vuforia.

Abstract

In recent years, the BIM methodology has been established as the next standard for the design and engineering of construction projects. Thanks to the collaborative process, BIM models contain increasingly important information for the construction of infrastructures. However, the paper documents generated for the work area do not allow visualizing all the information generated. This represents a limitation in the use of this information in the construction phase.

On the other hand, the augmented reality has experienced a remarkable growth in recent years as a result of the technological advance of mobile devices and the proliferation in the applications market. This technology represents a potential for integrating information on the physical environment, having experienced success in industries such as e-commerce, education and entertainment in general.

In this project the augmented reality technology is studied as a means to visually bring the information of the BIM models to the work area. For this, 4 applications are developed for iOS devices that use ARKit technology to visualize and superimpose elements of interest of BIM models in the physical environment. Finally, the technology is used to propose a solution to a real problem in the process of inspection of passive reinforcements on columns.

For the elaboration of this work, three-dimensional design software Revit is used for the management of BIM models, the Unity video game engine for the development of applications and the Vuforia and ARKit SDK are used for the integration of augmented reality technology in these applications. At the hardware level, an iPhone 6s Plus is used as a means to use the applications.

Keywords: Augmented reality (AR), Building Information Modeling (BIM), ARKit, Vuforia.

Índice

Agradecimientos	I
Motivación	II
Resumen	III
Abstract	IV
Índice	V
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas	X
Capítulo I: Planteamiento	1
Contexto	1
Introducción	1
Planteamiento del problema	2
Objetivos	3
Objetivo General	3
Objetivos específicos	3
Metodología	3
Capítulo II: Estado de la tecnología	7
BIM	7
Concepto	7
Dimensiones BIM	9
Niveles de madurez BIM	10
Revit	11
Realidad Aumentada	13
Elementos de la Realidad Aumentada	13
Tipos de seguimiento	13
Sensores	14
Marcadores	14
Marcador por objeto tangibles	14
Marcador por entorno	15
Híbridos	15

Kits de desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada	16
Vuforia	16
ARKit	17
Otras herramientas	18
Unity	19
Arkit plugin	19
Capítulo III: Desarrollo de experiencias RA	21
Maqueta virtual de un edificio.	21
Solución 1: Unity + Vuforia.	21
Instalación de librería Vuforia	21
Definición de marcador guía	21
Configuración de cámara de realidad virtual	23
Configuración de marcadores	23
Incorporación de modelo BIM	24
Exportación e instalación en dispositivo móvil	26
Análisis de los resultados	28
Solución 2: Unity + ARKit.	29
Instalación de librería ARKit	29
Incorporación y configuración del modelo BIM	31
Configuración de interfaz de transformación del modelo BIM	33
Análisis de los resultados	34
Recorrido Virtual	36
Desarrollo inicial de la aplicación	36
Ajuste del modelo BIM	37
Análisis de los resultados	39
Inspección aumentada	42
Ajuste y preparación del modelo BIM	42
Interfaz de uso	45
Posicionamiento del modelo BIM	48
Orientación del modelo BIM	49
Uso de la aplicación	51
Análisis de los resultados	52

Capítulo IV: Caso de uso aplicado	55
Planteamiento del problema	55
Desarrollo de la herramienta	56
Análisis de los resultados	60
Capítulo V: Conclusiones y Futuras Líneas de Investigación	62
Conclusiones del Proyecto	62
Futuras líneas de investigación	63
Referencias	64

Índice de figuras

Figura 1. Diseño de la información con herramientas BIM	2
Figura 2. Uso de la información en obra	2
Figura 3. Secuencia de aplicaciones a desarrollar	4
Figura 4. Resumen de la metodología	5
Figura 5. Tecnologías empleadas	7
Figura 6. Curva de MacLeamy, comparativa entre metodología tradicional y BIM [8]	8
Figura 7. Ciclo de vida del proyecto en BIM [9]	9
Figura 8. Dimensiones BIM [9]	10
Figura 9. Interfaz de Autodesk Revit 2018 [13]	12
Figura 10. Marcador con elemento virtual superpuesto [18]	14
Figura 11. Marcador por objeto 3D [18]	14
Figura 12. Detección de superficie real y proyección de modelo virtual [18]	15
Figura 13. Realidad aumentada con información de posicionamiento [19]	15
Figura 14. Realidad aumentada con el SDK Vuforia [18]	16
Figura 15. Realidad aumentada sin marcadores con ARKit [21]	17
Figura 16. Interfaz de usuario de Unity	19
Figura 17. Proceso de generación de licencia de desarrollo en Vuforia	22
Figura 18. Marcador utilizado (izquierda) y patrones reconocidos por Vuforia (derecha)	22
Figura 19. Configuración de cámara de realidad aumentada	23
Figura 20. Importación de base de datos de marcadores	23
Figura 21. Configuración de marcador en escenario	24
Figura 22. Modelo BIM utilizado (edificio B0)	24
Figura 23. Inserción y ajuste de modelo BIM al escenario	25
Figura 24. Resultado de realidad aumentada con Vuforia	25
Figura 25. Exportación de proyecto a dispositivos iOS	27
Figura 26. Instalación de aplicación de prueba en dispositivo iOS	28
Figura 27. Aplicación iOS con Vuforia	28
Figura 28. Falla de detección del marcador a más de metro y medio de distancia	29
Figura 29. Paquete ARKit de Unity a importar	30
Figura 30. Escenario de ARKit a utilizar	30
Figura 31. Objetos que eliminar del escenario	31
Figura 32. Modelo BIM utilizado del edificio B0 y sus inmediaciones	31
Figura 33. Introducción de modelo BIM al escenario	32
Figura 34. Asignación de texturas al modelo BIM en Unity	33
Figura 35. Configuración de interfaz de transformación del modelo BIM	34
Figura 36. Aplicación resultante con ARKit	35
Figura 37. Posicionamiento de los ejes de coordenadas del modelo BIM en el entorno	35
Figura 38. La aplicación permite visualizar el interior del modelo BIM	36
Figura 39. Modelo BIM utilizado para recorrido virtual	37

Figura 40. Ajuste de posición, escala y orientación del modelo BIM	38
Figura 41. Configuración de los planos de recorte de la cámara	38
Figura 42. Ubicación de modelo BIM en el Campus Nord de la Universidad Politécnica de Cataluña	39
Figura 43. Vista exterior del modelo BIM a escala real representado en realidad aumentada sobre un espacio abierto	40
Figura 44. Vista interior del modelo BIM durante recorrido virtual con realidad aumentada	40
Figura 45. Comprobación de escala real en entorno físico	41
Figura 46. Sistema eléctrico	42
Figura 47. Sistema mecánico	43
Figura 48. Sistema estructural	43
Figura 49. Armadura de pilares	43
Figura 50. Losa y falso techo	44
Figura 51. Paredes y puertas	44
Figura 52. Agrupación de elementos y modelo final utilizado	45
Figura 53. Configuración de botón	46
Figura 54. Secuencia de uso del botón de estructuras y armaduras	47
Figura 55. Script UnityARHitTestExample modificado	48
Figura 56. Ajuste de transformada de modelo BIM respecto a un punto de referencia	49
Figura 57. Script para ajuste de orientación del modelo BIM	49
Figura 58. Creación de script como componente del modelo BIM	50
Figura 59. Configuración de botón de rotación	50
Figura 60. Distribución final de botones	51
Figura 61. Detalle de punto de referencia y eje “y” para posicionamiento y orientación del modelo BIM	51
Figura 62. Vista de realidad aumentada de sistemas del edificio	52
Figura 63. Vista de interna del edificio con elementos estructurales en realidad aumentada	53
Figura 64. Vista externa del edificio con elementos estructurales en realidad aumentada	53
Figura 65. Imagen aumentada con todos los elementos disponibles	54
Figura 66. Zona B-C de la primera planta de la edificación proporcionado por COMSA	56
Figura 67. Modelo final de las armaduras pasivas de pilares en Revit	57
Figura 68. Pilares del modelo BIM	57
Figura 69. Armaduras del modelo BIM	58
Figura 70. Losa inferior y superior	58
Figura 71. Otros elementos del modelo BIM	58
Figura 72. Modelo completo utilizado	59
Figura 73. Punto de referencia y eje de rotación del modelo BIM para encaje en entorno real	59
Figura 74. Disposición de botones	60
Figura 75. Comparativa de la armadura real (izquierda, con la armadura virtual superpuesta)	60
Figura 76. Error de posicionamiento del modelo BIM	61

Índice de tablas

Tabla 1. Dispositivos utilizados	5
Tabla 2. Software utilizado	6
Tabla 3. SDK de realidad aumentada [22]	18

Capítulo I: Planteamiento

Contexto

Este trabajo se ha realizado en el marco del Máster de Ingeniería Estructural y de la Construcción de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y el Centre Internacional de Mètodes Numèrics (CIMNE).

Introducción

En los últimos años la industria de la construcción ha experimentado una evolución gracias al constante desarrollo de nuevos conocimientos, herramientas y tecnologías. El uso de software y sistemas ha aumentado las posibilidades en el cálculo y diseño de las obras de ingeniería y arquitectura. Esta tendencia al progreso tecnológico del sector ha fomentado el establecimiento de la metodología BIM (Building Information Modeling) como el próximo estándar de la industria, en donde es posible generar y reunir gran cantidad de información de las diferentes ramas de la construcción. *“La aplicación de herramientas BIM ha sido impulsado por un gran número de arquitectos, ingenieros y consultores de tal forma que ahora las empresas de construcción comienzan a aceptar estas formas innovadoras de mejorar el rendimiento laboral”* [1].

“La adopción de BIM en la industria tiene el potencial de cambiar significativamente el flujo de trabajo y el proceso de entrega del proyecto” [2]. Por esta razón es importante la aportación de nuevos conocimientos que permitan facilitar su implementación en la industria, así como aumentar su valor para aquellos que hagan uso de esta metodología.

Del mismo modo se ha visto un crecimiento exponencial de la tecnología de realidad aumentada (RA) que tuvo sus inicios en los años 90. Los avances tecnológicos de los dispositivos móviles han facilitado su desarrollo y proliferación en el mercado de aplicaciones (Apps). Su capacidad de integrar información visual de forma práctica y oportuna sobre el ambiente real demuestra el potencial que tiene para ser utilizado en aquellas situaciones en las que se requiere de mayor versatilidad y portabilidad que un ordenador. Esto ha propiciado su implementación en industrias como el comercio electrónico, la educación y el entretenimiento en general.

De la misma forma que en otras industrias, la realidad aumentada presenta la oportunidad de integrar en el entorno real información digital de utilidad generada por herramientas BIM para el sector de la construcción.

Planteamiento del problema

Las herramientas BIM han ido evolucionando constantemente para un mejor desarrollo del diseño de estructuras. Sin embargo, su adopción en la etapa de ejecución no ha experimentado el mismo crecimiento. Bråthen & Moum en una conferencia relacionada con el BIM en sitio de la construcción declaran lo siguiente:

“A pesar de que el BIM se usa ampliamente en la fase de diseño, es significativamente menos utilizado por los trabajadores del sitio en la fase de ejecución, que todavía está dominado por el papel en forma de dibujos” [3].

Esta brecha entre lo desarrollado en el despacho con herramientas BIM y lo realmente utilizado en área de trabajo representa una gran cantidad de información que no es aprovechada. Los documentos en papel generados para la etapa de ejecución no permiten visualizar toda la información generada en la etapa de diseño.



Figura 1. Diseño de la información con herramientas BIM



Figura 2. Uso de la información en obra

Este trabajo busca estudiar la tecnología de realidad aumentada como alternativa para la visualización de modelos BIM en el área de trabajo. Para ello se ha estructurado en los siguientes objetivos.

Objetivos

Objetivo General

Estudio y desarrollo de herramientas de visualización de modelos BIM mediante tecnologías de realidad aumentada para su uso en obras

Objetivos específicos

- Explorar diferentes tecnologías de realidad aumentada en el contexto de la ingeniería de la construcción: Ventajas y limitaciones, precedentes y buenas prácticas en el sector.
- Aprendizaje y manejo de herramientas de realidad aumentada con modelos BIM.
- Crear una experiencia de realidad aumentada que permita visualizar un modelo BIM a escala real sobre el área de construcción.
- Superponer información BIM de un edificio sobre su contraparte real.
- Aplicar las tecnologías estudiadas de realidad aumentada sobre una obra real para explorar las inspecciones comparativas entre el modelo BIM diseñado y el avance de la ejecución
- Reflexionar sobre los futuros usos de la tecnología en el sector de la construcción para la fase de ejecución.

Metodología

El desarrollo de este trabajo inicia con el estudio del estado actual del sistema BIM, la tecnología de realidad aumentada y las herramientas para el desarrollo de aplicaciones con esta tecnología.

Una vez definidos los conceptos y presentado el panorama de la tecnología, se prosigue a la incorporación visual de información de modelos BIM al entorno real mediante las herramientas de realidad aumentada estudiadas. Para ello se ha optado por la creación de 4 aplicaciones para dispositivos iOS que integren de forma progresiva esta información visual al mismo tiempo que buscan tener utilidad real en el sector de arquitectura, ingeniería y construcción. Se han definido las 4 aplicaciones de la siguiente manera:

1. **Maqueta virtual:** Se exploran dos tecnologías de realidad aumentada con el objetivo de introducir la información geométrica de los distintos elementos presentes en el modelo BIM.
2. **Recorrido virtual de edificación:** Se introduce un modelo BIM a escala real sobre un terreno libre para su exploración en detalle y experimentación del tamaño real de la obra previo a su construcción.

3. **Inspección aumentada:** Se plantea el concepto de inspección aumentada el cual refiere a la exploración de una estructura física real con la ayuda de la realidad aumentada para la visualización de elementos no visibles. Para ello se busca el posicionamiento y encaje del modelo BIM de una edificación sobre su contraparte real de forma que el eje de coordenadas de este modelo coincida con el eje real de coordenadas manteniendo una posición y orientación específica.
4. **Inspección aumentada de armadura pasiva:** Una vez logrado la incorporación visual de la información BIM en el entorno real con estas aplicaciones, se prosigue a crear una cuarta herramienta con el objeto de implementar los conocimientos obtenidos para el desarrollo de una aplicación que pueda ser utilizada para resolver una problemática presente en una obra utilizando información BIM y la realidad aumentada. En este caso se desarrolla una aplicación para visualizar la armadura pasiva de pilares con el objetivo de inspeccionar el armado real previo al vertido del hormigón.

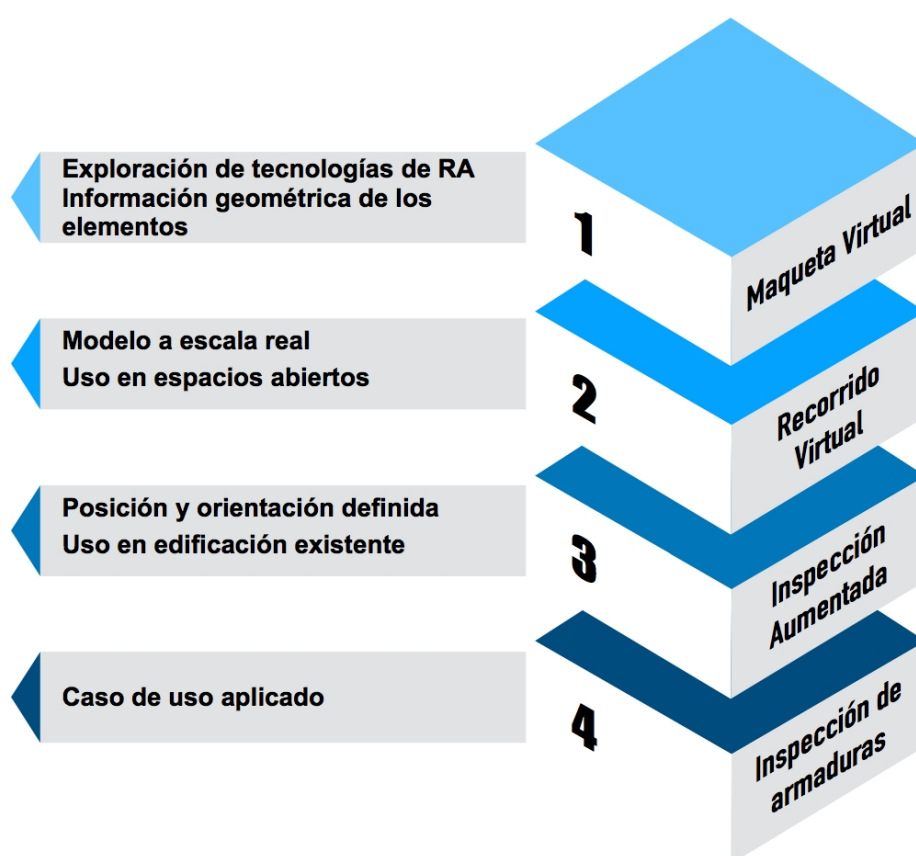


Figura 3. Secuencia de aplicaciones a desarrollar

Finalmente se hace un análisis de los resultados obtenidos en cada una de las aplicaciones, evaluando las virtudes y limitaciones de las herramientas utilizadas. Con esto se presentarán las conclusiones y recomendaciones para futuras líneas de investigación que permitan continuar el trabajo realizado.

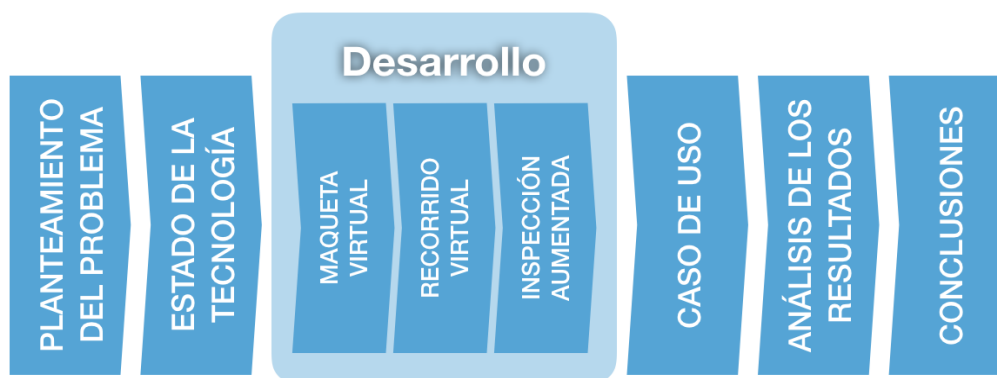


Figura 4. Resumen de la metodología

Para la realización de este trabajo se utilizaron los siguientes dispositivos:

Dispositivos de trabajo		
Dispositivo	Especificaciones	Descripción
Macbook Pro (15-inch, 2017) 	Sistema Operativo macOS High Sierra (10.13.2) Windows 10 Procesador 2,9 GHz Intel Core i7 Memoria RAM 16 GB Tarjeta gráfica Radeon Pro 560 4 GB Intel HD Graphics 630 1536 MB	Ordenador principal con el que se elaboran las herramientas desarrolladas y se maneja los softwares BIM.
iPhone 6s Plus 	Sistema Operativo iOS 11.2 Pantalla 5,5 pulgadas Cámara 12 Mpx Sensores <ul style="list-style-type: none"> • Giroscopio de tres ejes • Acelerómetro 	Dispositivo móvil utilizado para el manejo de las herramientas de realidad aumentada desarrolladas.

Tabla 1. Dispositivos utilizados

De la misma manera se presentan a continuación el software utilizado para el desarrollo de este trabajo.

Software utilizado		
Software	Especificaciones	Descripción
	Unity Versión 2017.1.1f1 Personal Sistema operativo: Mac OS	Motor de videojuegos multiplataforma
	Revit Versión 2017 Sistema operativo: Windows	Software de modelado BIM
	Xcode Versión 9.2 Sistema operativo: Mac OS	Entorno de desarrollo integrado para macOS y iOS
	Vuforia Versión 6.5 Sistema operativo: Mac OS	Kit de desarrollo de software (SDK) de realidad aumentada
	Unity ARKit Plugin Versión 1.0.12 Sistema operativo: Mac OS	Plugin experimental para utilizar el SDK Arkit de Apple para el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada dentro de proyectos de Unity

Tabla 2. Software utilizado

Capítulo II: Estado de la tecnología

En este capítulo se describen las tecnologías utilizadas para el desarrollo de este proyecto.

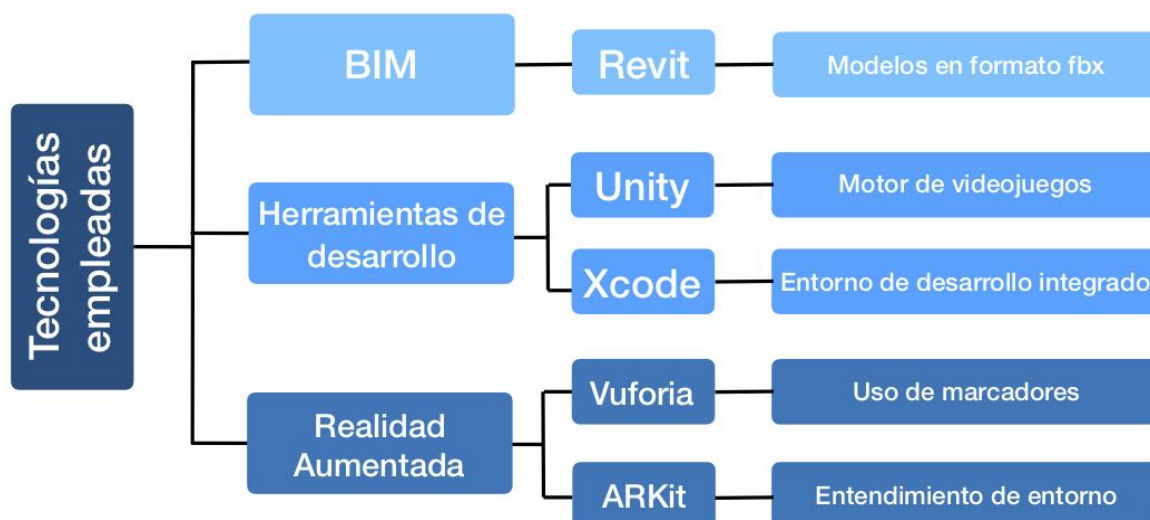


Figura 5. Tecnologías empleadas

BIM

Concepto

El término BIM es un acrónimo en inglés “Building Information Modeling” o modelado de la información para la construcción. Consiste en un proceso que proporciona las herramientas necesarias para diseñar, construir y gestionar edificios e infraestructuras de manera más eficiente [4], utilizando software de modelado tridimensional de edificios tiempo real, para disminuir la pérdida de tiempo y recursos [5].

La metodología BIM inicia con el diseño digital 3D del edificio formado por los equivalentes virtuales de piezas y elementos constructivos del edificio incluyendo información de sus propiedades físicas reales. El conjunto de estos elementos representa el prototipo digital del edificio, permitiendo simularlo y entenderlo en un entorno virtual previo a su construcción [6].

Mientras que las aplicaciones CAD imitan el proceso tradicional de lápiz y papel en dos dimensiones elaborados en base a elementos sencillos como líneas y textos, la metodología BIM busca imitar el proceso real de la construcción utilizando elementos inteligentes (muros, ventanas, cubiertas, etc.) y registrándolos en una base de datos y manteniendo una vinculación permanente entre ambos. Gracias a esto, BIM permite interpretar la interacción lógica entre estos elementos de tal forma que al realizar algún cambio en el proyecto se actualiza automáticamente todos los objetos afectados, así como los

dibujos y planos. De esta forma se consigue aumentar la productividad, ahorrar tiempo y una optimizar todo el proceso dando como resultado en una mayor calidad y rentabilidad del proyecto.

La metodología BIM tiene como objetivo la centralización de toda la información del edificio en un único modelo constructivo manteniendo una coherencia entre las múltiples disciplinas que lo conforman. Consiste en una metodología colaborativa entre proyectistas, constructores y demás agentes implicados en el proceso constructivo reduciendo conflictos entre estos y mejorando el entendimiento del proyecto en general.

BIM permite aplicar la filosofía IPD (Integrated project delivery) en la que se utiliza una alianza colaborativa entre personas, sistemas y prácticas en el proceso para aprovechar talentos e ideas de todos los participantes y así optimizar el resultado del proyecto, incrementar su valor, reducir desechos, y maximizar la eficiencia durante sus distintas fases (diseño, construcción y vida útil) [7].

A pesar de que esta metodología requiere de una mayor inversión de tiempo y esfuerzo en la fase previa a la construcción, su implementación se traducirá en un menor coste y esfuerzo durante su ejecución gracias a haber logrado una definición avanzada del proyecto anteriormente. Esto se puede observar en la siguiente gráfica realizada por Patrick MacLeamy en un estudio de arquitectura estadounidense. En ella se puede observar la comparativa de esfuerzo y tiempo entre la metodología tradicional (azul) y la metodología BIM (roja). [8]

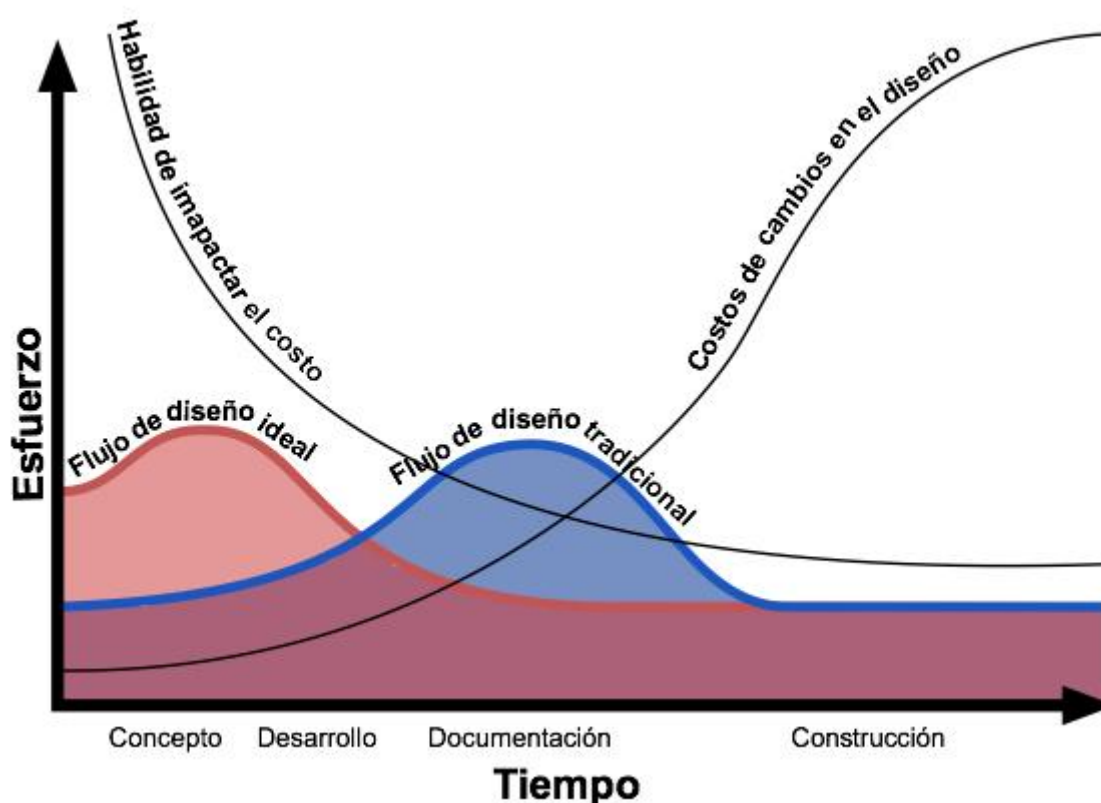


Figura 6. Curva de MacLeamy, comparativa entre metodología tradicional y BIM [8]

Dimensiones BIM

BIM va más allá de un simple modelo 3D ya que corresponde a una metodología que abarca todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción en sus diferentes bases, desde su diseño inicial, durante su construcción, durante toda su vida útil, hasta su demolición.

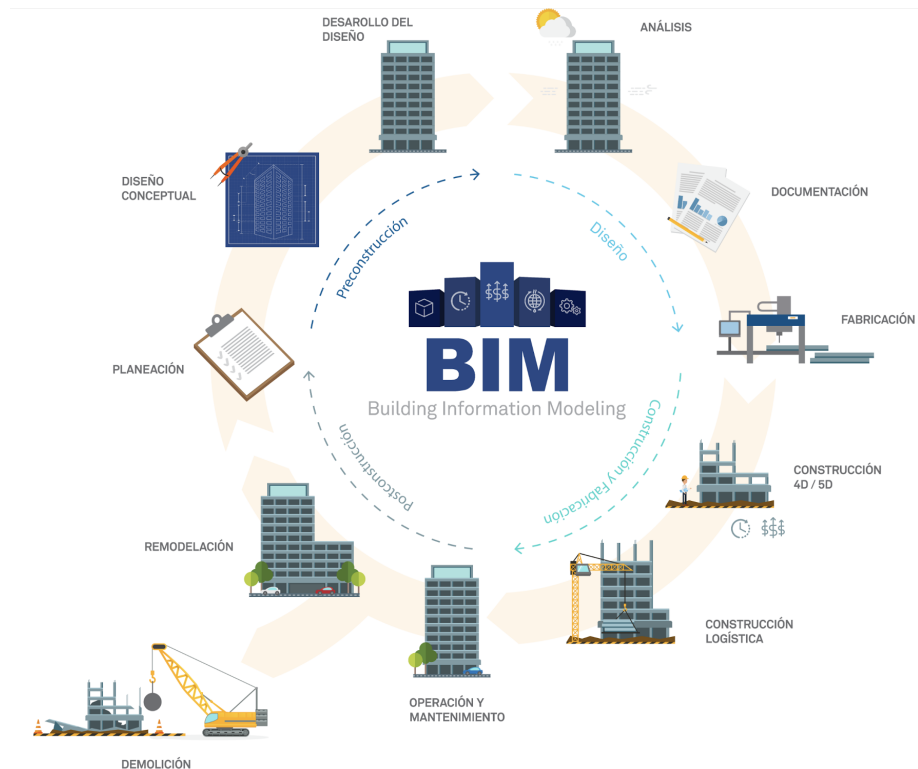


Figura 7. Ciclo de vida del proyecto en BIM [9]

Aunque el BIM parte de un modelo tridimensional único, este puede contemplar más dimensiones tales como:

- **BIM 4D (Programación):** Introduce el factor tiempo permitiendo asignar una secuencia de construcción, controlar la dinámica del proyecto, realizar simulaciones de las diferentes fases de construcción, diseñar el plan de ejecución y anticipar posibles dificultades.
- **BIM 5D (Control de costes):** Incluye control de costes y estimación de gastos para un mayor control contable y financiero del proyecto.
- **BIM 6D (Sostenibilidad o Green BIM):** Es la dimensión empleada para gestionar la información ambiental del proyecto, su sostenibilidad e impacto.
- **BIM 7D (Mantenimiento o Facility management):** Es utilizada para operaciones de mantenimiento de las instalaciones durante la vida útil directamente relacionadas con el modelo As-Built de los mismos.

En la siguiente figura se puede observar una breve descripción de las características principales de cada dimensión:



Figura 8. Dimensiones BIM [9]

Niveles de madurez BIM

La colaboración resulta ser uno de los factores más importantes de la metodología BIM, estableciéndose 4 niveles de madurez al respecto. Estos indican la capacidad de la cadena constructiva para operar e intercambiar información entre los distintos agentes implicados y definen la infraestructura de apoyo requerida en cada caso [10]

Se tendrán entonces los siguientes niveles de madurez:

- **Nivel 0 (Baja colaboración):** Opera usando dibujos CAD 2D no administrados a través del intercambio de planos en papel o documentos electrónicos. Prácticamente no representa ningún nivel de colaboración. Actualmente la industria ya ha superado este nivel de madurez [10].
- **Nivel 1 (Colaboración parcial):** Trabaja haciendo uso de un repositorio compartido en línea conocido como entorno de datos común (CDE por sus siglas en inglés), donde todos los datos necesarios del proyecto son recogidos y gestionados. Este nivel se enfoca en el uso del 3D para el diseño conceptual, 2D para generar la documentación, y CDE para gestionar la información generada. Sin embargo, en este nivel no existe trabajo colaborativo entre las diversas disciplinas [10].
- **Nivel 2 (Completa colaboración):** Colaboración total de BIM 3D con toda la información del proyecto, activos y documentación electrónica. Pueden integrar secuencia de construcción 4D y / o información de costos 5D [10]. Aparece el flujo de trabajo colaborativo en el que cada una de las partes involucradas posee su propio modelo 3D y se comparte la información a través de archivos de formato común [11]. En la actualidad varios países de europeos buscan la adopción de este nivel de colaboración con la intención de optimizar el proceso constructivo.

- **Nivel 3 (Integración completa):** Representa el objetivo final para la industria de la construcción. Se basa en la plena integración de la información en un único modelo BIM compartido dentro del entorno basado en la nube (iBIM). Abarca todas las dimensiones BIM y al ser un único modelo para todos los implicados en el proyecto en tiempo real, se eliminan los riesgos de aparición de conflictos [10].

Revit

Es un software desarrollado por Autodesk destinado a trabajar con la metodología BIM. Se trata de un programa de modelado tridimensional asistido por computador basado en objetos inteligentes con potentes herramientas que permiten planificar, diseñar, construir y gestionar edificios e infraestructuras [12].

Permite el modelado de componentes de construcción, análisis y simulación de sistemas de estructuras generando documentación automática a partir de los modelos BIM. Facilita una mejor coordinación al permitir a los diversos colaboradores de un mismo proyecto acceder a los modelos compartidos de forma centralizada.

Revit representa un software multidisciplinario que abarca herramientas creadas expresamente para cada disciplina:

Arquitectura: Desde el concepto hasta la visualización, el software Revit ofrece funciones para cada fase del proyecto. Hace uso de potentes herramientas BIM para capturar y comunicar los conceptos creativos y la finalidad exacta del diseño.

Ingeniería estructural: Aumenta la eficiencia, mejora la precisión de la instalación y mejora la viabilidad de la construcción conectando el diseño estructural con el modelo BIM detallado desde el concepto de diseño hasta la fase de fabricación.

Ingeniería MEP: Ayuda a ingenieros, diseñadores y contratistas de MEP (mecánica, electricidad y saneamiento) a modelar con un gran nivel de detalle y a coordinar fácilmente a los colaboradores de proyectos de construcción.

Construcción: El éxito de su proyecto depende en gran medida de la toma de decisiones que realiza durante las fases iniciales. El uso de los datos de diseño de Revit durante la fase previa a la construcción ayuda a minimizar los riesgos de viabilidad de la construcción [12].

Se ha optado por utilizar Revit para el manejo de la información BIM en este proyecto por ser este el software en el que se han diseñado los modelos BIM a utilizar a lo largo de esta investigación.

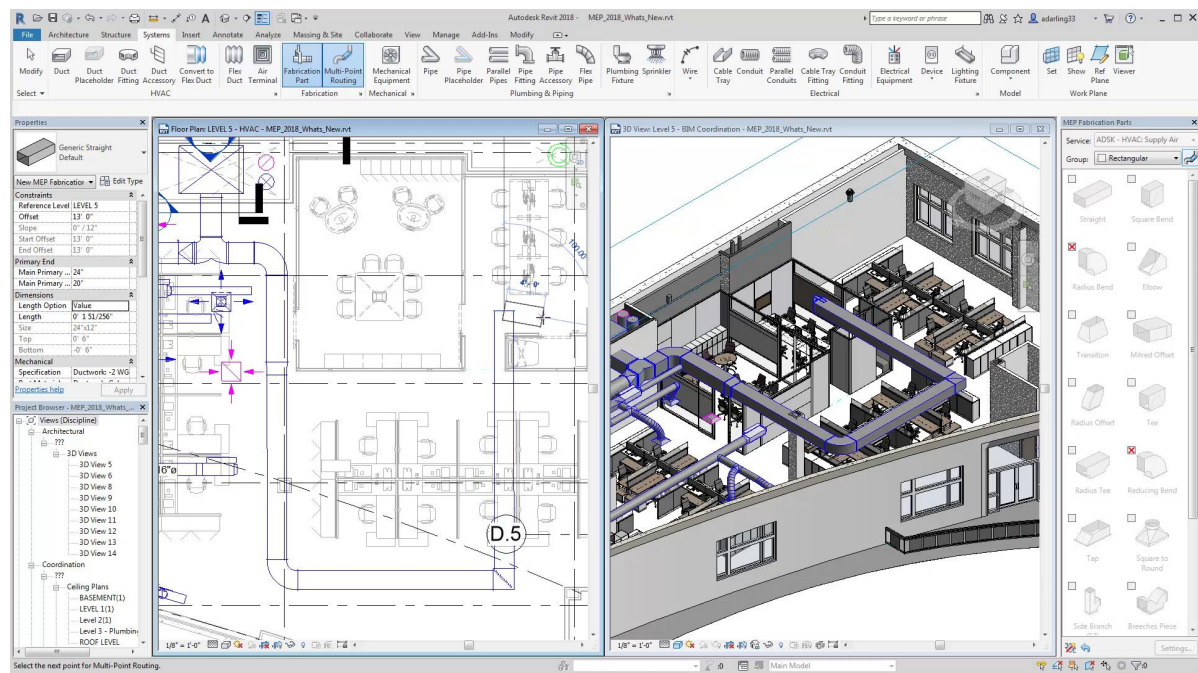


Figura 9. Interfaz de Autodesk Revit 2018 [13]

Realidad Aumentada

La realidad aumentada (RA) es una tecnología que crea una experiencia visual basada en el uso de elementos virtuales con el mundo real [14]. Proporciona una experiencia enriquecida aumentando la percepción de la realidad del usuario al simular la presencia de imágenes, marcadores o información generados virtualmente sobre la imagen del entorno físico real para ofrecer en tiempo real más información o posibilidades a los usuarios.

En su origen, las experiencias de realidad aumentada han sido principalmente utilizadas en la industria del entretenimiento y los videojuegos, sin embargo, otras industrias de negocios también se interesan sobre las posibilidades de RA por su potencial en la recopilación y el intercambio de conocimiento tácito. [15]

Los avances tecnológicos de los dispositivos móviles como los smartphones y las tablets, han hecho posible que hoy en día se pueda disfrutar de esta tecnología con más facilidad y a menor costo, posicionándose en el sector de consumo de forma generalizada [16].

Elementos de la Realidad Aumentada

Para lograr la superposición de la información virtual con el entorno físico real es necesaria la existencia de 4 elementos básicos:

- **Captura de imagen:** Se utiliza una cámara para captar la imagen real desde la perspectiva del usuario y transformarla en información disponible para la aplicación.
- **Activador de realidad aumentada:** Representa todos aquellos elementos que pueda proporcionar información que permita el entendimiento de lo que ve el usuario y así realizar el seguimiento de la imagen. [16]
- **Software:** Es el elemento de procesamiento cuya función es la de interpretar la información de la cámara y combinarla correctamente con la información virtual correspondiente a la imagen en tiempo real.
- **Proyección de imagen:** Se utiliza para permitir al usuario visualizar la imagen combinada del mundo real con el digital.

Tipos de seguimiento

El seguimiento de la imagen representa uno de los cuatro elementos de la realidad aumentada. Es el proceso que permite el entendimiento de la imagen observada para una correcta combinación de esta imagen con los elementos virtuales correspondientes. Estos tipos de seguimientos han ido evolucionando a medida que la tecnología avanza y en la actualidad se pueden identificar los siguientes tipos de seguimientos:

Sensores

El uso de sensores fue la primera forma de seguimiento en el desarrollo de herramientas de realidad aumentada. Como su nombre lo indica, este se basa en el uso de sensores (giroscopios, GPS, acelerómetros, Wifi, Bluetooth, brújula, etc.)

Marcadores

Los marcadores son símbolos impresos (códigos QR) o imágenes que pueden ser detectadas por la cámara e interpretadas por el software para la superposición de elementos virtuales sobre ellos [17]. El entendimiento del entorno está determinado por la posición en el que se detecta el marcador por lo que en la mayoría de los casos los elementos virtuales desaparecen al perder la imagen de este.



Figura 10. Marcador con elemento virtual superpuesto [18]

Marcador por objeto tangibles

A diferencia de los marcadores convencionales, en este caso se utilizan objetos físicos tridimensionales con la intención de aumentarlos. A falta de uso de una imagen específica este tipo de seguimiento requiere de una mayor capacidad de cálculo y por lo tanto mejores dispositivos. Para su correcto funcionamiento es necesario que el objeto sea opaco, rígido y sin piezas móviles [17].

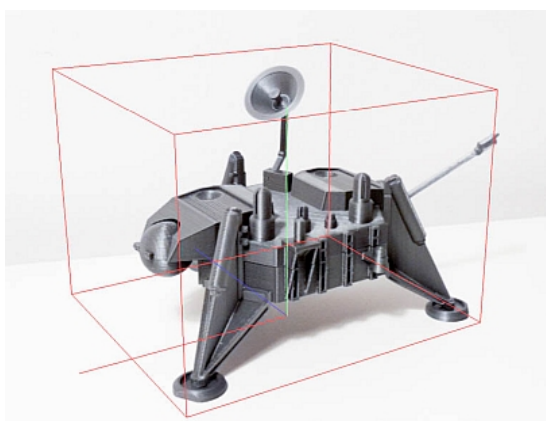


Figura 11. Marcador por objeto 3D [18]

Marcador por entorno

También conocido como realidad aumentada sin marcadores, funciona haciendo uso de la información visual del entorno detectando por si misma patrones en el ambiente e interpretándolos para lograr el entendimiento de su posición. Este incluye reconocimiento facial, objetos y superficies sin el uso de marcadores preprogramados. Representa el tipo de seguimiento más eficiente en la actualidad gracias a su versatilidad [18].



Figura 12. Detección de superficie real y proyección de modelo virtual [18]

Híbridos

El seguimiento híbrido hace uso de sensores para la obtención de datos de posición y orientación y con ello complementar técnicas de seguimiento visuales. Generalmente son utilizados para activar un modelo que deba ser visualizado al llegar a una ubicación específica para luego iniciar el seguimiento mediante alguna de las técnicas anteriormente mencionadas.

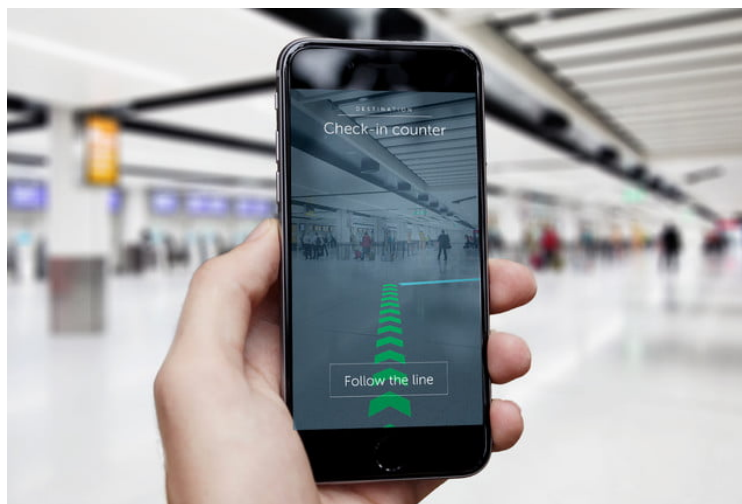


Figura 13. Realidad aumentada con información de posicionamiento [19]

Kits de desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada

Los Kits de desarrollo (SDK) de realidad aumentada son conjuntos de herramientas y librerías que facilitan el desarrollo de software de realidad aumentada. Estos incluyen scripts preprogramados para realizar funciones de seguimiento, renderizado de elementos y entendimiento de escenarios. En el presente trabajo se utilizan los Kits de desarrollo Vuforia y ARKit.

Vuforia

Es un Kit de desarrollo de realidad aumentada para la creación de aplicaciones en dispositivos móviles (Android, iOS y UWP) y puede ser utilizado para el desarrollo de aplicaciones en Android Studio, Xcode, Visual Studio o Unity.

Vuforia proporciona herramientas para la creación de marcadores permitiendo gestionar bases de datos que los contengan. Estos incluyen marcadores en base a imágenes, códigos QR, textos, objetos tridimensionales y marcadores múltiples.

Adicionalmente este SDK incluye localizadores, detección de oclusión, selección de objetivos visuales en tiempo real, además de todas las preconfiguraciones necesarias para el renderizado de elementos virtuales en base a las imágenes reales. [18]



Figura 14. Realidad aumentada con el SDK Vuforia [18]

ARKit

Es una plataforma de realidad aumentada basada en reconocimiento del entorno desarrollada por la compañía Apple para dispositivos iOS, proporcionando una interfaz sencilla a un poderoso conjunto de características. Estas características se pueden dividir en tres categorías:

- Seguimiento: Es la capacidad de rastrear el dispositivo en tiempo real proporcionando una posición virtual en un ambiente real. Este funciona a través de una edometría visual inercial, o el uso de imagen de la cámara y datos de movimiento del dispositivo para conseguir una visión precisa la ubicación y orientación del dispositivo.
- Entendimiento de Escena: Es la habilidad de determinar atributos o propiedades acerca del ambiente alrededor del dispositivo. Estos incluyen la detección de planos o superficie en el ambiente físico, ensayo de colisión entre topología real y objetos virtuales, y estimación de iluminación.
- Renderizado: Es el proceso de generar una imagen en base al cálculo de iluminación en modelos 3D. Para ello se provee de una integración sencilla de una transmisión constante de imagen de la cámara, información de seguimiento y entendimiento de escena [20].



Figura 15. Realidad aumentada sin marcadores con ARKit [21]

Otras herramientas





SDK de Realidad Aumentada		
Software	Características	Plataformas
	ARCore Rastreo de movimiento, Entendimiento ambiental, estimación de luz	Android
	ARMedia Seguimiento basado en marcadores	Android, iOS, Windows, Flash
	ARToolKit Seguimiento basado en marcadores y sin marcadores	Android, iOS, Windows, Linux
	Beyond Reality Face Seguimiento facial	Flash
	Instant Reality Marcadores, Características naturales, GPS, buscador visual, contenido API	Android, iOS, Windows, Linux
	Layar Características naturales, GPS, Sensores, IMU, Buscador visual, Contenido API	Android, iOS
	Wikitude GPS, Sensores, IMU, Contenido API	Android, iOS, Blackberry OS

Tabla 3. SDK de realidad aumentada [22]

Unity

Es un motor de videojuegos multiplataforma desarrollado por Unity Technologies. Es principalmente utilizado para el desarrollo de videojuegos con gráficos 2D y 3D haciendo uso de funciones de arrastrado y de scripts en C# y Java.

Este motor tiene la capacidad de trabajar con objetos 3D fotorrealistas, la creación de entornos virtuales, animación, renderizado, iluminación y la implementación de herramientas preprogramadas.

El software permite el uso de animaciones y múltiples formatos de modelos tridimensionales como 3ds y fbx. Estos se trabajan a través de una interfaz gráfica de usuario basada en escenarios y líneas de tiempo.

La característica principal de Unity es su capacidad de desarrollar aplicaciones para 28 plataformas distintas incluyendo ordenadores, consolas de videojuegos, plataformas web, dispositivos móviles, dispositivos de realidad virtual y de realidad aumentada. Esto permite a los desarrolladores trabajar en una plataforma general que abarca todos los sistemas finales.

Para este trabajo se ha decidido por el uso de Unity dada su versatilidad y compatibilidad con dispositivos móviles y diversos SDK de realidad aumentada.

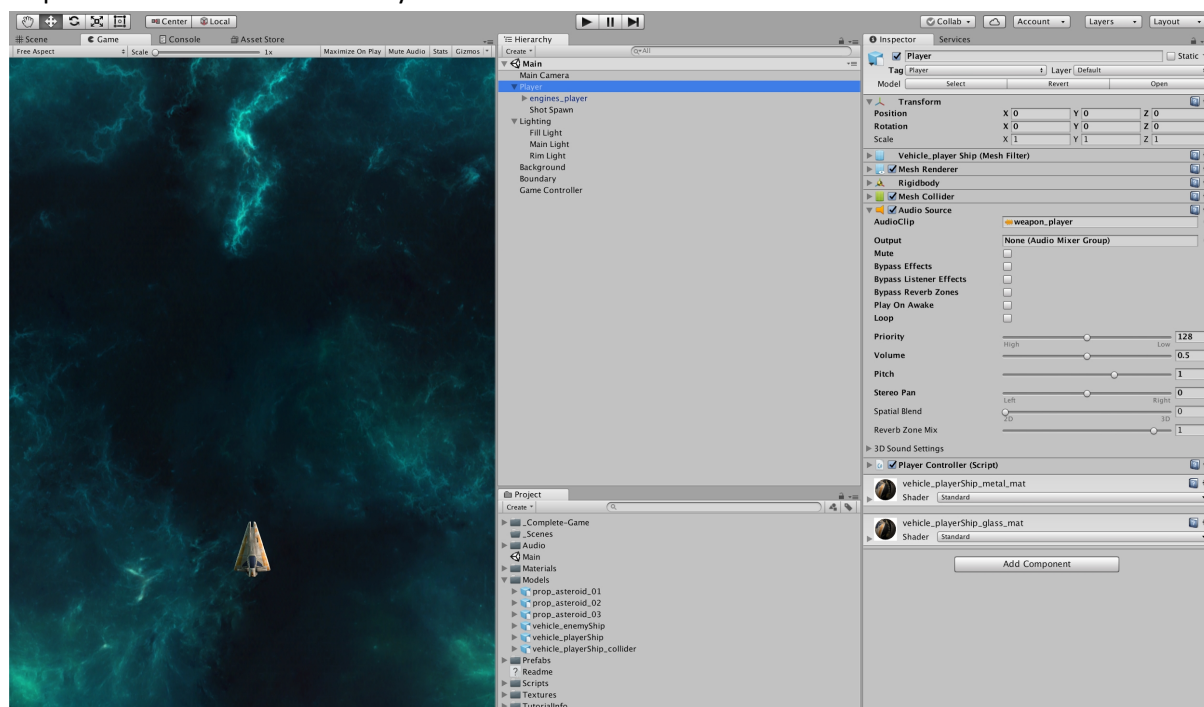


Figura 16. Interfaz de usuario de Unity

Arkit plugin

Es un paquete desarrollado por Unity que permite la integración de ARKit en el motor de videojuegos. Este incluye una variedad de escenarios que a su vez contienen objetos y scripts para el manejo de las

funciones de seguimiento, detección de planos, nube de puntos de referencia, renderizado, cámara principal, luz direccional, entre otros.

A continuación, se describen los elementos incluidos escenario básico del plugin de ARKit para Unity:

- Tiene un objeto llamado ARCameraManager que tiene el script UnityARCameraManager.cs, y tiene una referencia a la cámara principal de la escena. Al inicio, este script inicializa el Arkit y actualiza la posición de la cámara, la rotación y matriz de proyección basada en la información actualizada por cuadro por el Arkit.
- La cámara principal tiene un script llamado UnityARVideo.cs, que actualiza el vídeo en directo con una referencia a un YUVMaterial que contiene un sombreado para llevar a cabo la prestación del vídeo.
- Contiene un objeto llamado RandomCube que es el cubo de tablero de ajedrez en la escena que se coloca en 1 unidad en la dirección z desde el origen de la escena.
- Hay un llamado Objeto llamado GeneratePlanes que contiene el script UnityARGeneratePlane el que se hace referencia a un objeto prefabricado para mostrar los planos generados. El script engancha en el plano horizontal detectado y actualiza los eventos que Arkit indica de modo que cada nuevo plano detectado obtiene una instancia correspondiente del objeto prefabricado colocado en la escena aumentada. Utiliza algunos scripts de utilidad para realizar un seguimiento de los planos detectados y para generar las instancias. A medida que se observa la escena, este objeto debe generar una instancia del objeto prefabricado referenciado cada vez que Arkit detecta un plano, y se actualizará la extensión y orientación de la instancia prefabricada basada en los eventos de actualización del plano.
- Hay un objeto llamado HitCube que tiene un script llamado UnityARHitTestExample que hace referencia a la transformada del objeto padre. El script realiza una prueba de contacto de ARKit siempre que se detecte un toque en la pantalla, y la posición resultante de la prueba de contacto se utiliza para colocar la transformada del objeto padre del cubo. Cuando se ejecuta la escena, tocando en la pantalla se moverá el HitCube a donde el toque intersecta un plano, o si un plano no fuese alcanzado, el punto de entidad más cercana.
- Contiene un objeto llamado PointCloudParticleExample que tiene un script del mismo nombre, que recibe los datos de nube de puntos de Arkit, y muestra los datos de partículas por puntos en la nube. Esto demuestra en la escena como pequeños puntos amarillos.
- La luz direccional en la escena tiene el script UnityARAMbient en él, que utiliza el valor de estimación luz de ARKit para cambiar la intensidad de la luz en el escenario. Así que, si se entrara en un cuarto oscuro, los objetos de la escena estarán iluminados con una luz menos brillante que si estuviera en la luz del día. [23]

Capítulo III: Desarrollo de experiencias RA

En este apartado se describe el proceso en detalle de exploración, análisis y aplicación de las tecnologías en el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada para la visualización de modelos BIM en el sector de la construcción.

Maqueta virtual de un edificio.

Como punto de partida se busca implementar dos tecnologías diferentes de realidad aumentada para la creación de las aplicaciones en dispositivos móviles.

Una maqueta virtual se refiere a poder visualizar un modelo BIM a escala de un edificio sobre una superficie mediante el uso de realidad aumentada. Esto pretende simular una maqueta, con la ventaja de poder presentarla en cualquier momento sin la necesidad de tener un modelo físico.

El desarrollo de una maqueta virtual representa un primer paso para llevar un modelo BIM al entorno real, ya que permite la visualización de la información geométrica de todos los elementos que componen el modelo BIM.

Los SDK de realidad aumentada utilizados tienen el objetivo de posicionar correctamente el eje de coordenadas virtual del modelo BIM sobre el entorno real y realizar un seguimiento constante de la posición del observador.

Solución 1: Unity + Vuforia.

Como alternativa inicial se optó por el uso de marcadores a través de la librería de Vuforia 6.5 y el desarrollo con Unity 2017 para la implementación de realidad aumentada.

Instalación de librería Vuforia

Como primer paso se creó un usuario de desarrollador con plan gratuito en Vuforia a través del enlace <https://developer.vuforia.com>.

Una vez culminado el registro se prosigue a descargar la librería de Vuforia para Unity, se crea un nuevo proyecto y se importa todo el contenido descargado.

Definición de marcador guía

Lo siguiente consiste en generar una licencia de Vuforia para la nueva aplicación. Esto se logra en la sección “Develop” / “License Manager” de la página de desarrolladores de Vuforia siguiendo la siguiente secuencia.

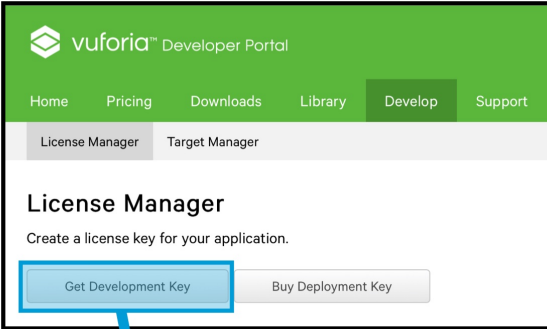
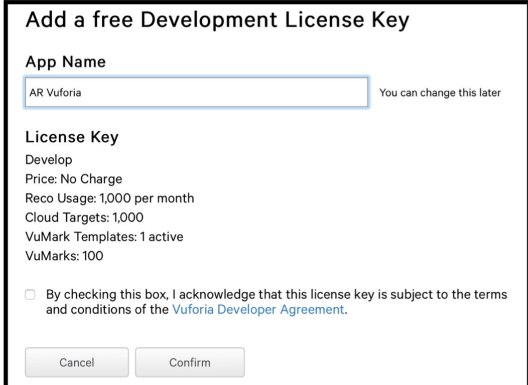



Figura 17. Proceso de generación de licencia de desarrollo en Vuforia

Para la creación de un marcador guía primero es necesario crear una base de datos en la sección “Develop” / “Target Manager” de la página de desarrolladores de Vuforia. Luego se prosigue a configurar una imagen plana como el marcador. En este caso se utilizó un pasaporte debido a que posee un tamaño ideal (125 x 88 mm) y una imagen con patrones fáciles de detectar por el sistema.



Figura 18. Marcador utilizado (izquierda) y patrones reconocidos por Vuforia (derecha)

A continuación se prepara del escenario virtual en Unity con las configuraciones realizadas como desarrollador en Vuforia.

Configuración de cámara de realidad virtual

Lo primero es eliminar el gameobject “Main Camera” debido a que su función será sustituida por el objeto prefabricados “ARCamera” proveniente del paquete de Vuforia previamente importado. Es necesario también copiar la licencia generada en la web de desarrollador e introducirla en la configuración de Vuforia siguiendo la siguiente secuencia.

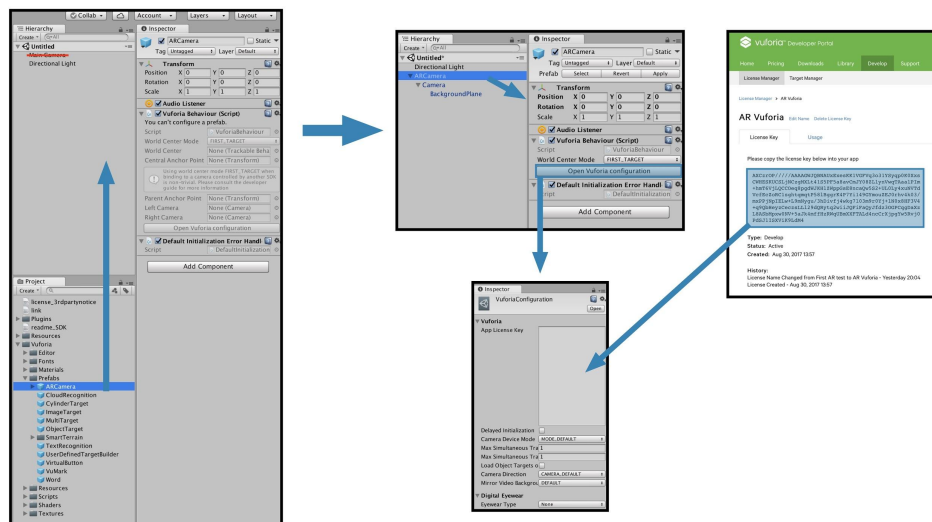


Figura 19. Configuración de cámara de realidad aumentada

Configuración de marcadores

Como siguiente paso se configura el marcador creado en la web de Vuforia. Para ello primero se debe descargar la base de datos de marcadores para Unity creada anteriormente e importarla al proyecto.

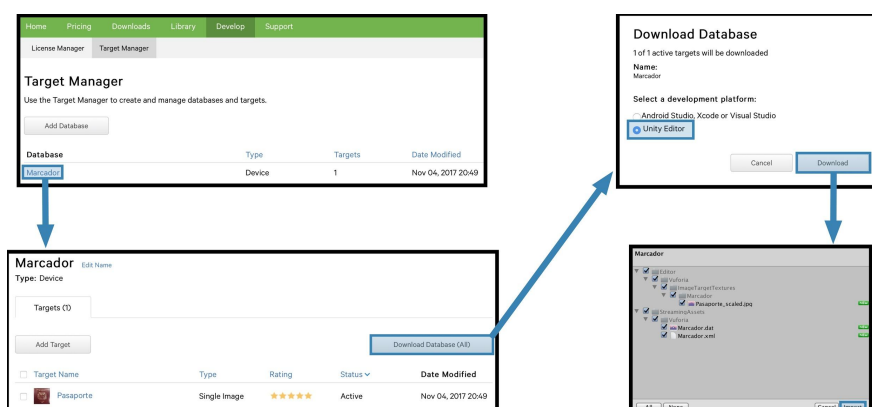


Figura 20. Importación de base de datos de marcadores

Una vez importada la base de datos se busca en el objeto “ImageTarget” en la librería de Vuforia / Prefabs, y se añade al escenario. Es necesario indicar en el objeto “ImageTarget” el marcador que se va a utilizar, esto se consigue en las opciones del objeto, la sección “Image Target Behaviour” y seleccionando la base de datos utilizada (database) y el marcador (Image Target). Por último, se debe activar la detección del marcador en las configuraciones de Vuforia, apartado “Datasets” y activando las opciones “Load Database” y “Active”.

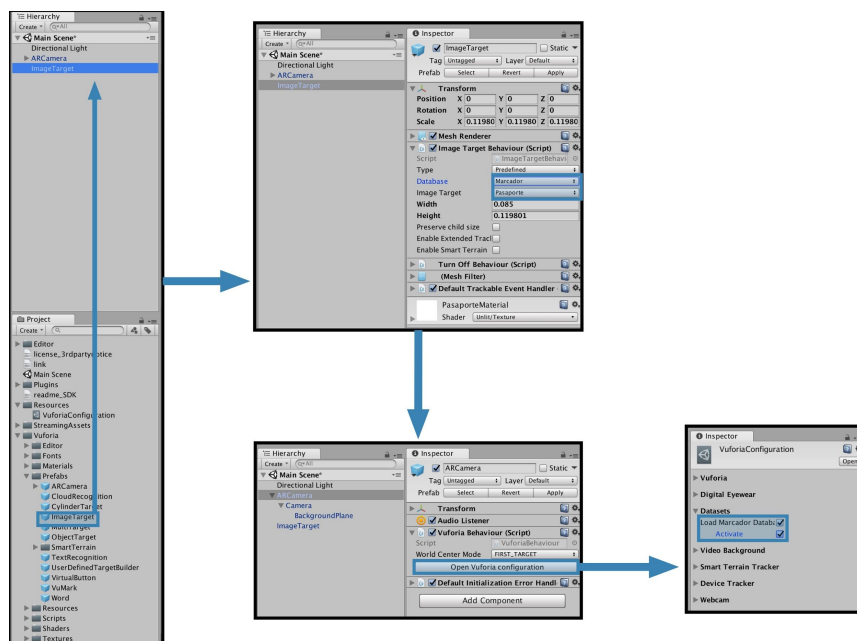


Figura 21. Configuración de marcador en escenario

Incorporación de modelo BIM

A continuación, se prosigue a añadir un modelo BIM al proyecto. Para este caso se optado por el modelo BIM del edificio B0 del Campus Nord de la Universidad Politécnica de Cataluña. El modelo BIM se encuentra previamente exportado desde Revit al formato “fbx” compatible con el software Unity.

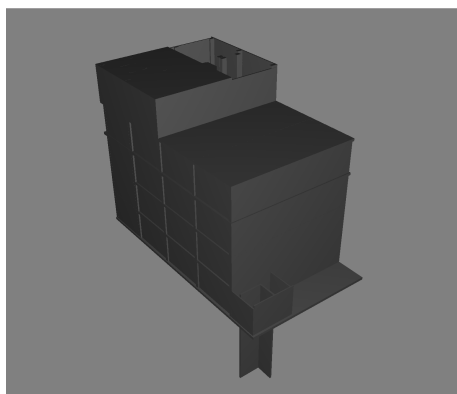


Figura 22. Modelo BIM utilizado (edificio B0)

Primero se importa el modelo BIM en formato fbx al proyecto, luego se añade al escenario como hijo del objeto “ImageTarget”. Este modelo será utilizado por Unity como objeto a renderizar sobre la imagen del marcador y se transformará de acuerdo con el ángulo y posición relativa del marcador respecto a la cámara.

Se reduce la escala del modelo a 0.05 en todos los ejes para poder visualizarse mejor.

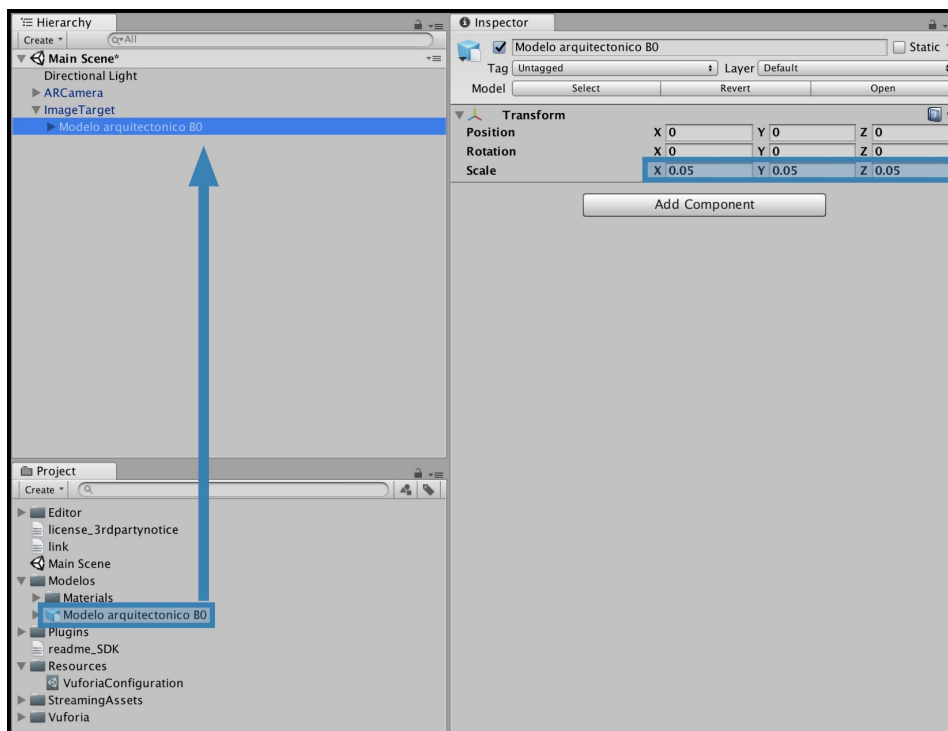


Figura 23. Inserción y ajuste de modelo BIM al escenario

Finalmente, la escena está terminada y se puede realizar pruebas con el ordenador directamente desde el motor Unity. El programa utiliza la cámara del ordenador para detectar en tiempo real el marcador y renderizar sobre él el modelo BIM del edificio a escala.

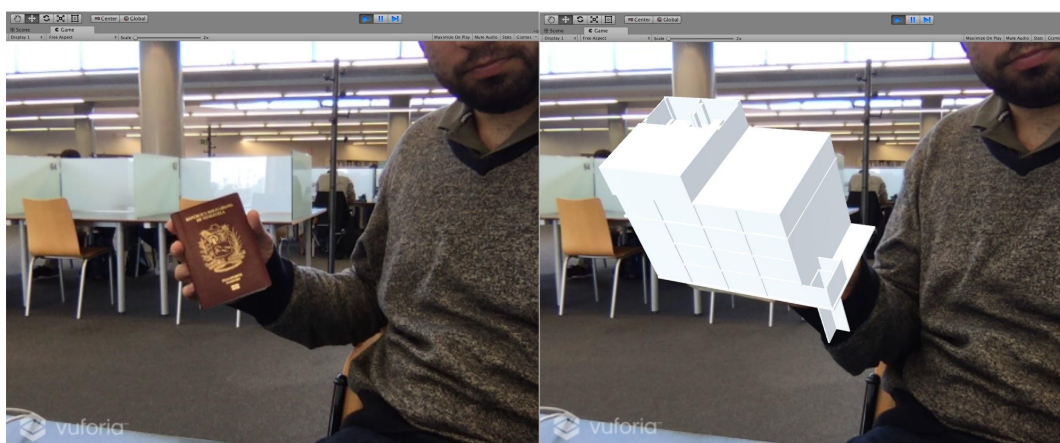


Figura 24. Resultado de realidad aumentada con Vuforia

Exportación e instalación en dispositivo móvil

Con el objetivo de utilizar esta tecnología de forma más práctica, se procede a exportar e instalar en el dispositivo móvil. Tanto Unity como Vuforia tienen la capacidad de exportar el escenario creado a una aplicación compatible con distintos dispositivos. En esta investigación se utiliza un iPhone 6s plus.

Para poder crear aplicaciones compatibles con el sistema iOS del dispositivo es necesario realizar su desarrollo desde un ordenador Mac y registrarse como desarrollador con plan gratuito en el enlace "<https://developer.apple.com>".

Lo siguiente será descargar e instalar el software Xcode de Apple disponible una vez culminado el registro como desarrollador. Ya instalado y abierto Xcode, se añade la cuenta creada como desarrollador en las preferencias del software.

A continuación, se realiza la exportación del proyecto en Unity a dispositivos iOS. Se selecciona la opción "Build Setting" del menú "File". La ventana emergente muestra las plataformas disponibles para la exportación del proyecto. En este caso se selecciona iOS y se presiona el botón "Switch Platform".

Antes de continuar con la exportación es necesario identificar la información del producto sobre la aplicación que se va a crear, para ello se pulsa el botón "Player Settings" y en la ventana de inspector se apunta el nombre de la aplicación (Product Name) y el identificador (bundle identifier), este último se debe introducir sin espacios y con el patrón (com."Nombre de la organización"."Nombre del producto").

Finalmente se presiona el botón "Build and run" para exportar el proyecto y abrirlo en Xcode.

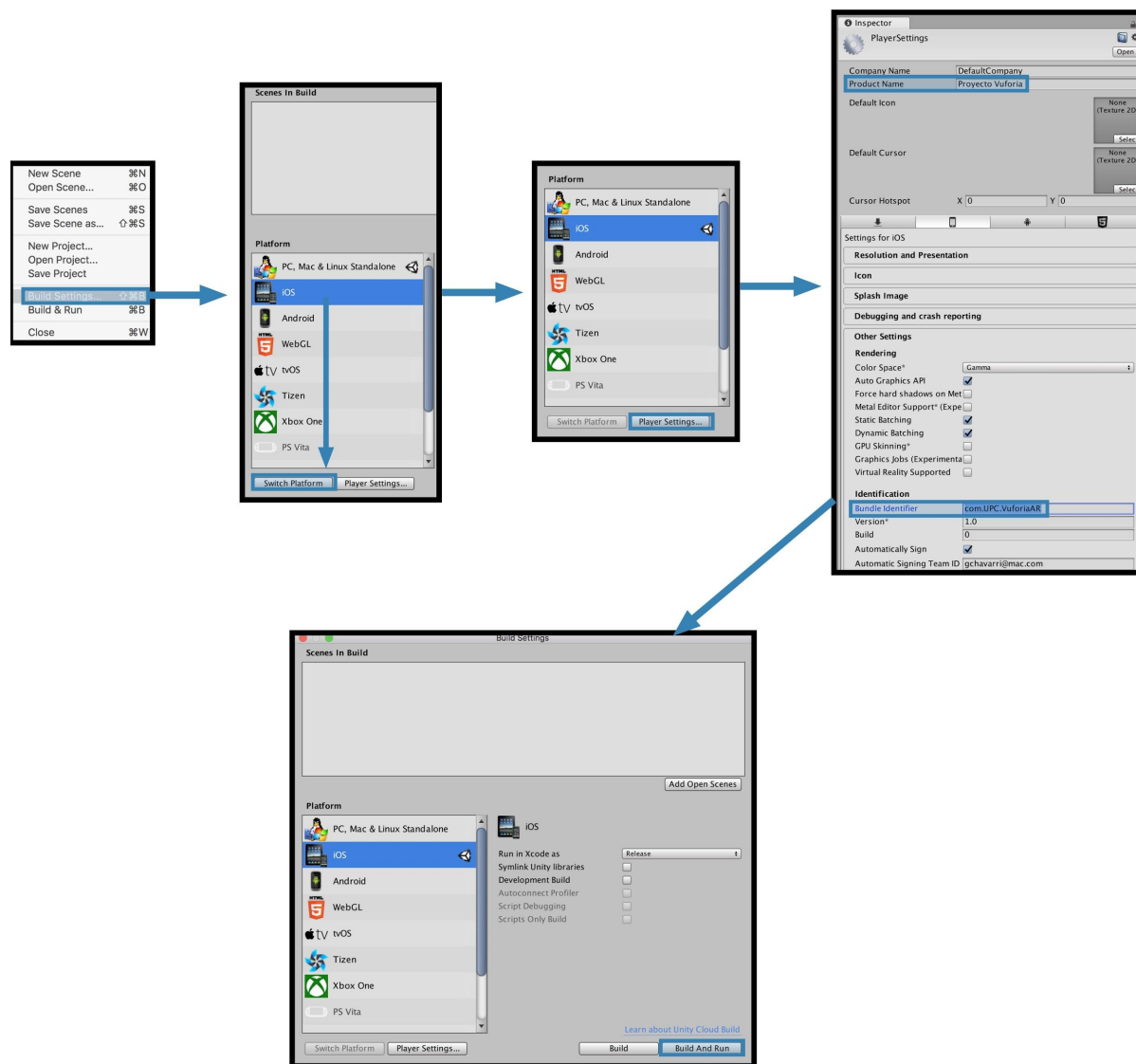


Figura 25. Exportación de proyecto a dispositivos iOS

Una vez abierto el archivo exportado en Xcode se debe identificar el equipo de trabajo con el “Personal Team”, conectar el dispositivo a iOS a utilizar, identificar el dispositivo y por último presionar el botón de “build and run” identificado con el símbolo de inicio.

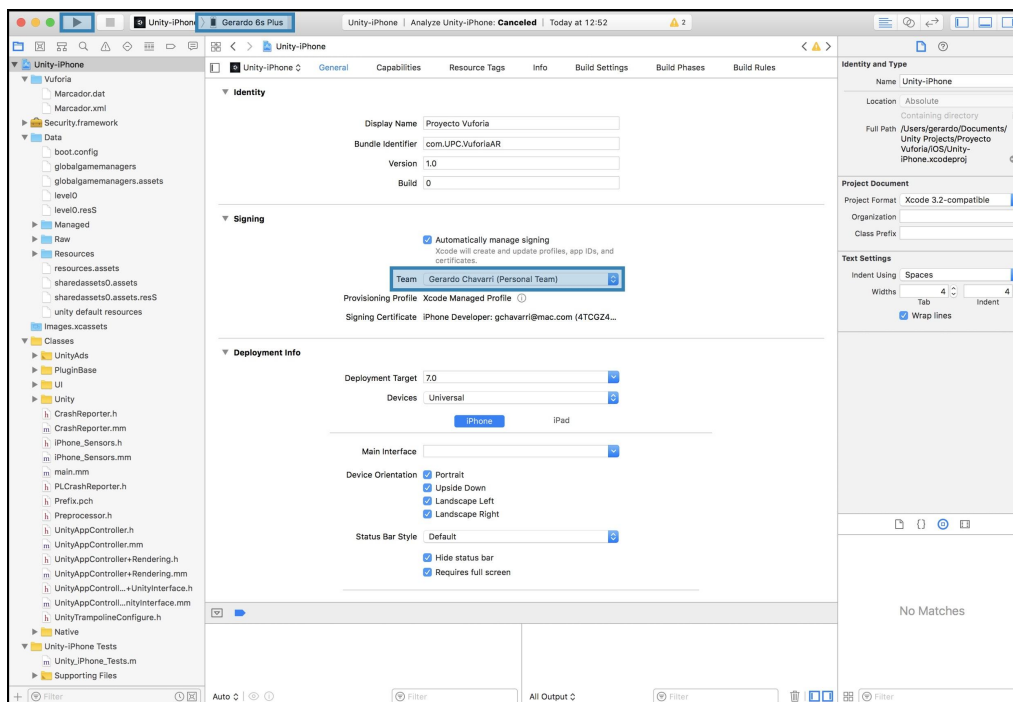


Figura 26. Instalación de aplicación de prueba en dispositivo iOS

Esto inicia la instalación de la aplicación en el dispositivo móvil. Tras unos minutos se culmina la instalación y se abre automáticamente la aplicación en el dispositivo.

Análisis de los resultados

La aplicación resultante se caracteriza por tener la capacidad de detectar el marcador y superponer el modelo BIM sobre él. Al usar un marcador de dimensiones 125 x 88 mm se puede apreciar el correcto posicionamiento del modelo BIM en la imagen, lo que corresponde a un correcto seguimiento del marcador en una distancia inferior al metro y medio. Sin embargo, al aumentar esta distancia se empiezan presentar problemas de detección del marcador y por lo tanto pérdida de visión del modelo.

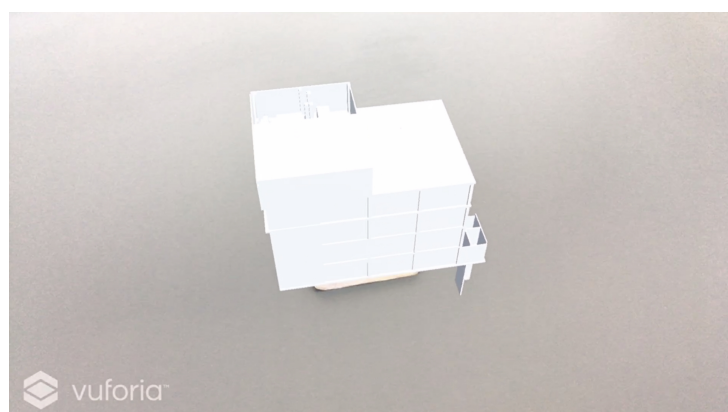


Figura 27. Aplicación iOS con Vuforia

A pesar de ser completamente funcional para visualizar modelos BIM a escala desde varios ángulos y a una distancia cercana, la tecnología Vuforia tiene la limitante de necesitar de la presencia y detección constante del marcador en su campo de visión para poder realizar el seguimiento. Este problema se ha abordado en el pasado mediante la implementación de un script que reconoce matices visuales del entorno para complementar la información del marcador. Sin embargo, este script no es suficientemente avanzado para realizar el seguimiento por si solo y presenta fallas de posicionamiento del modelo. [22]



Figura 28. Falla de detección del marcador a más de metro y medio de distancia

Solución 2: Unity + ARKit.

Con el objetivo de superar las limitantes de Vuforia, se optó por trabajar con ARKit por su capacidad de seguimiento del entorno real sin el uso de marcadores.

Es importante recordar que la tecnología ARKit es exclusiva para dispositivos de Apple, por lo tanto, es necesario trabajar desde un ordenador Mac para desarrollar las aplicaciones que hagan uso de ella.

Instalación de librería ARKit

Se inicia con la creación de un nuevo proyecto 3D en Unity. Seguido a esto es necesario importar el paquete "Unity ARKit Plugin" para habilitar el uso de la tecnología ARKit en aplicaciones desarrolladas con Unity. Esto se hace buscando, descargando e importando todos los elementos al proyecto desde la tienda de extensiones (Asset Store) en Unity.

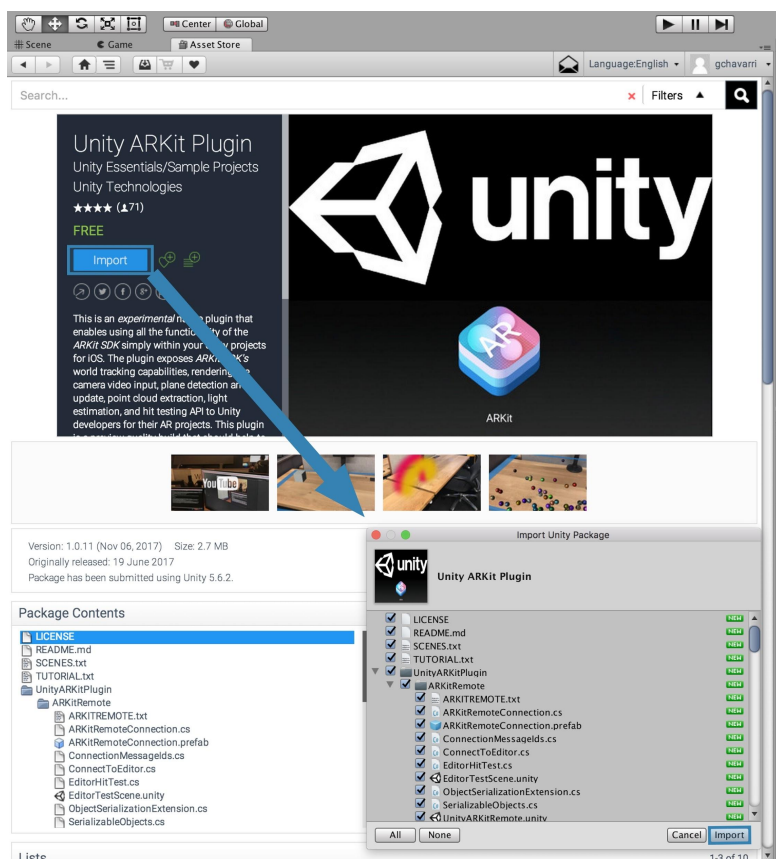


Figura 29. Paquete ARKit de Unity a importar

Una vez importado, se busca el escenario “UnityARKitScene.unity” incluido en el paquete y ubicado en UnityARKitPlugin/Examples/UnityARKitScene/

En el capítulo II se explican con detalle la función de cada uno de los objetos presente en el escenario utilizado, además de los diferentes ejemplos que existen dentro del paquete.

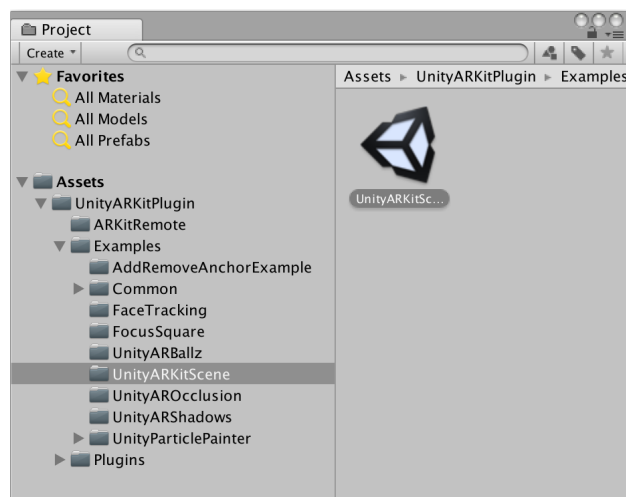


Figura 30. Escenario de ARKit a utilizar

Del escenario abierto se eliminan los objetos “RandomCube” y “HitCube” debido a que no son necesarios para la aplicación a desarrollar.

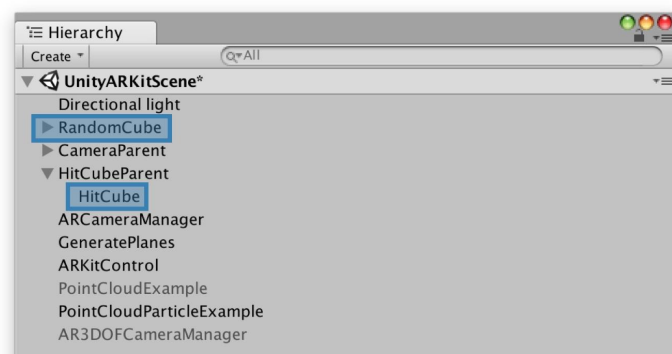


Figura 31. Objetos que eliminar del escenario

Incorporación y configuración del modelo BIM

A continuación, se prosigue a introducir el modelo BIM a utilizar en el proyecto. En este caso se utiliza un modelo BIM más completo del edificio B0 de la Universidad Politécnica de Cataluña, el cual incluye la geometría simple de los edificio adyacentes y ciertos detalles. Este modelo BIM es exportado desde Revit al formato fbx y luego introducido en el proyecto Unity.

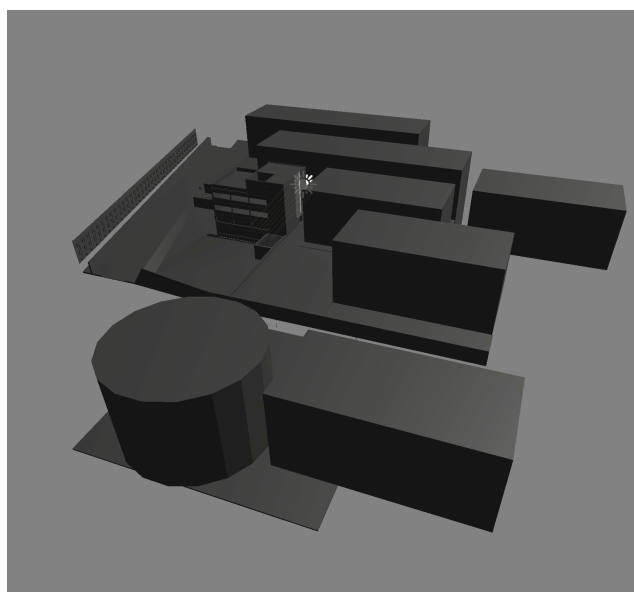


Figura 32. Modelo BIM utilizado del edificio B0 y sus inmediaciones

A continuación, se añade el modelo BIM al escenario como hijo del objeto “HitCubeParent” y se le modifica la escala en los tres ejes por 0.005 para poder visualizarlo fácilmente sobre una mesa.

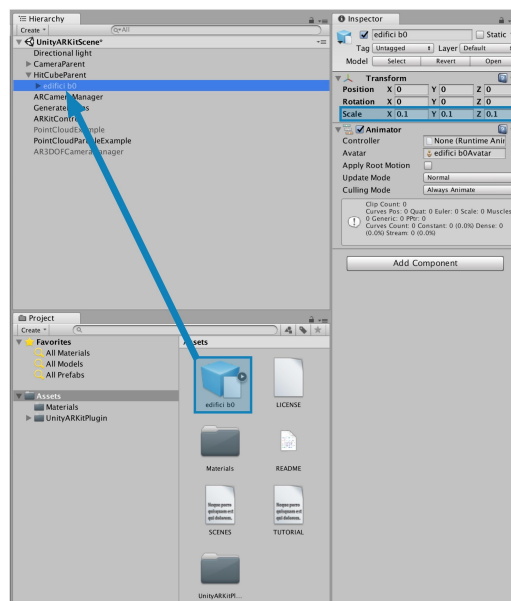


Figura 33. Introducción de modelo BIM al escenario

A pesar de que la exportación del modelo BIM desde Revit al formato fbx mantiene la información geométrica y los materiales asignados a sus elementos constructivos, estos no incluyen las texturas por lo que se visualizan todos con el mismo color estándar, dando la impresión de no poseer tal información. Por esta razón es necesario asignar nuevas texturas a los materiales desde Unity. Para ello son añadidos al proyecto una serie de imágenes jpg de texturas fotorealistas.

Para asignar las texturas más adecuadas a cada uno de los materiales, se inspeccionan los elementos más visibles del modelo BIM y se identifica el material que utiliza en el inspector. Luego en las preferencias del material se puede asignar la textura en la opción “Albedo”, esto abrirá una ventana mostrando las texturas disponibles en el proyecto. Los cambios realizados en el material de un elemento afectarán a todos los demás elementos que hagan uso del mismo material. Se realiza el mismo proceso para el resto de los materiales hasta obtener el resultado deseado.

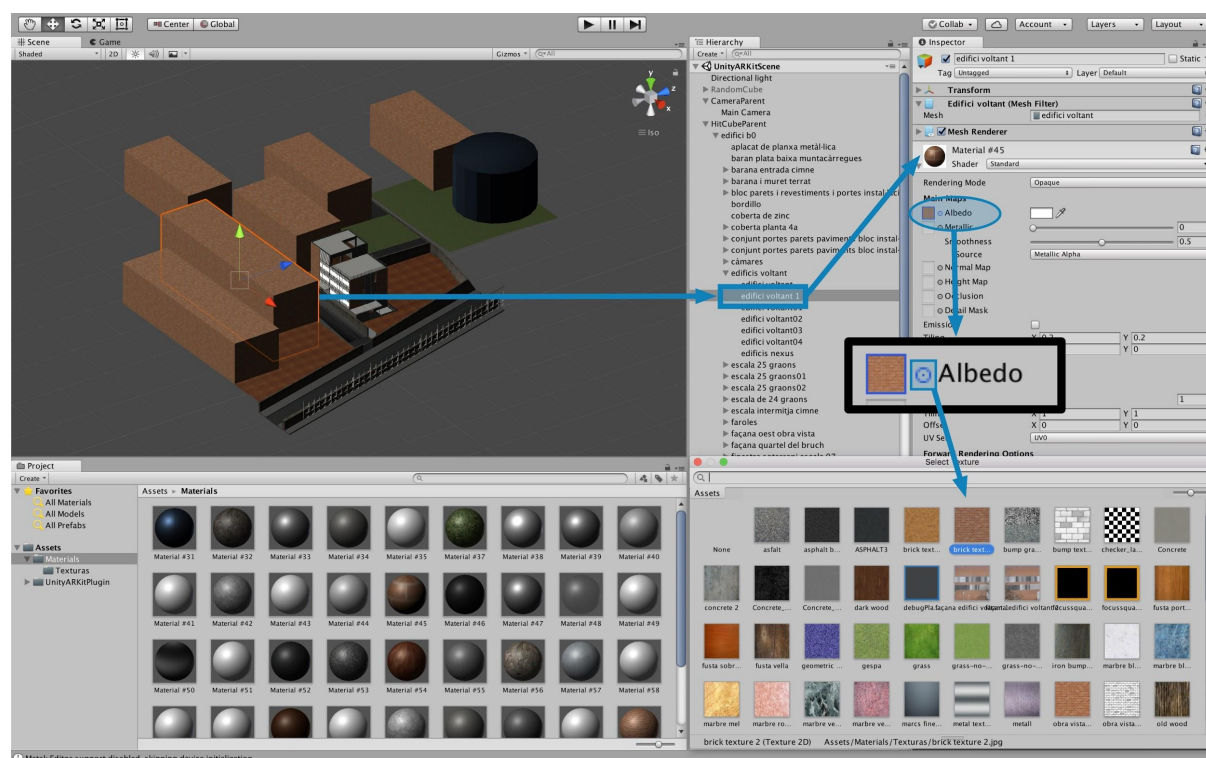


Figura 34. Asignación de texturas al modelo BIM en Unity

Configuración de interfaz de transformación del modelo BIM

El siguiente paso consiste en habilitar la función de colocación manual del modelo BIM sobre una superficie horizontal deseada del entorno real. Esto se logra implementando el script prefabricado “UnityARHitTestExample.cs” incluido en el paquete ARKit para Unity. Este script detecta la posición en la que es tocada la pantalla del dispositivo y la correlaciona con una posición sobre los planos detectados del entorno real, para así transformar de forma precisa la posición, escala y orientación del modelo asignado. El resultado final es la ilusión de que se coloca el modelo BIM sobre una superficie real.

De esta forma, se debe buscar el script en la dirección UnityARKitPlugin/Plugins/Helpers/ y añadirlo al objeto del modelo. Esto añadirá el apartado “Unity Ar Hit Test Example (Script)” en el inspector del modelo, dentro del cual se debe asignar el objeto “HitCubeParent” en la opción “Hit Transform”.

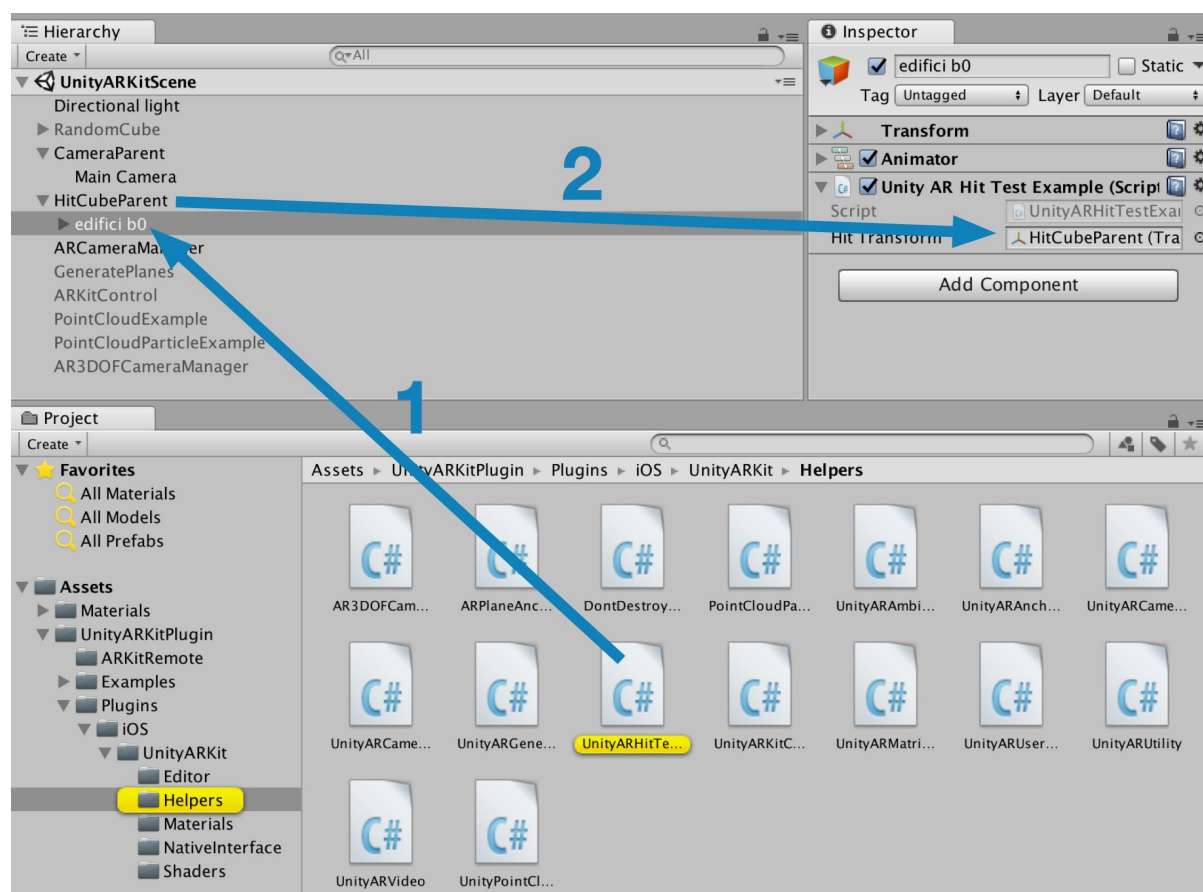


Figura 35. Configuración de interfaz de transformación del modelo BIM

Una vez finalizado los puntos anteriores, se procede a la exportación e instalación de la aplicación en el dispositivo móvil de la misma forma que se hizo en la primera solución con Vuforia.

Análisis de los resultados

La aplicación resultante permite el posicionamiento y la visualización del modelo BIM sobre cualquier superficie horizontal y sin la necesidad del uso de marcadores. Este sistema de seguimiento permite anclar el modelo BIM de forma manual en la superficie deseada manteniendo su posición y orientación consistentemente respecto al movimiento del dispositivo.



Figura 36. Aplicación resultante con ARKit

Al estar relacionada con superficies horizontales la rotación de los ejes de coordenadas X' y Z' del modelo BIM coincide con los ejes reales del entorno (X y Z). Sin embargo, la orientación del eje Y' queda fijada a la posición inicial del observador respecto a la superficie detectada en el momento en el que se inicia la aplicación. Por otra parte, la posición del origen virtual (coordenadas $0',0',0'$) es fijado en el eje Y' por la posición de la superficie detectada y los ejes X y Z se posicionan manualmente.

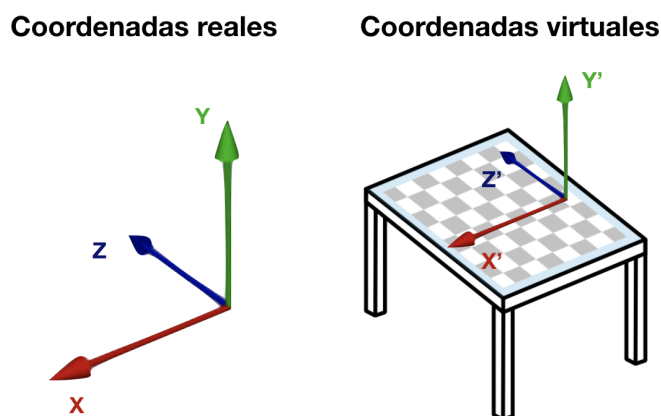


Figura 37. Posicionamiento de los ejes de coordenadas del modelo BIM en el entorno

Gracias a su sistema de seguimiento en base a la información visual y uso de los sensores, el uso de esta tecnología permite mantener correctamente la posición del modelo BIM una mayor distancia de la alcanzada con la tecnología Vuforia. Además, al no necesitar la visualización del marcador, es posible observar el modelo BIM internamente y desde cualquier ángulo sin necesidad de mantener la visión de la superficie que lo posiciona.



Figura 38. La aplicación permite visualizar el interior del modelo BIM

Su correcto funcionamiento depende de su capacidad de detectar el entorno real visualmente por lo que es necesario tener una iluminación suficiente. Además, es recomendable hacer un recorrido alrededor de la superficie para proporcionar la información visual necesaria al sistema antes de colocar el modelo BIM. Se ha experimentado dificultades para detectar el movimiento del dispositivo al utilizar superficies lisas monocromáticas debido a que el sistema de rastreo se basa en la detección de patrones visuales para hacer el seguimiento. Este mismo problema ocurre al realizar movimientos bruscos que distorsionen la imagen captada por la cámara, sin embargo, el modelo BIM vuelve a ajustar su posición una vez detectados patrones reconocidos con anterioridad.

La tecnología ARKit ha presentado mejores resultados para realizar el seguimiento del entorno y para mantener una visión y posición constante del modelo de la obtenida con Vuforia. Por esta mayor versatilidad se ha optado por su uso para el desarrollo de las próximas aplicaciones.

Recorrido Virtual

El siguiente paso para llevar el modelo BIM al entorno real consiste en la visualización de las dimensiones reales de los elementos. Esto se logra mediante la implementación de modelos BIM a escala real que permitan realizar un recorrido virtual en espacios abiertos.

El recorrido virtual permite experimentar la magnitud y escala del proyecto diseñado previo a su construcción. La realidad aumentada da la posibilidad de realizar un recorrido de la obra, logrando una mayor sensación de realismo.

Desarrollo inicial de la aplicación

Para el desarrollo de esta aplicación se repetirá la metodología utilizada para la creación de la maqueta virtual con ARKit. Se inicia nuevamente con la creación de un proyecto 3D Unity y se utiliza el escenario UnityARKitScene.unity. Se eliminan los objetos “RandomCube” y “HitCube”, se introduce el modelo

BIM a utilizar y se configura la interfaz de transformación del modelo con el script “Unity Ar Hit Test Example (Script)”.

En este caso se ha utilizado un modelo BIM reducido del edificio B0 con las texturas de los materiales ya asignados tal como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 39. Modelo BIM utilizado para recorrido virtual

Ajuste del modelo BIM

A diferencia de la maqueta virtual, para el recorrido virtual es necesario mantener una escala en los tres ejes igual a 1. Además, se debe ajustar la posición y orientación del modelo respecto a la cámara de manera que se posicione a la altura y distancia deseada en el momento de visualizarlo sobre el terreno.

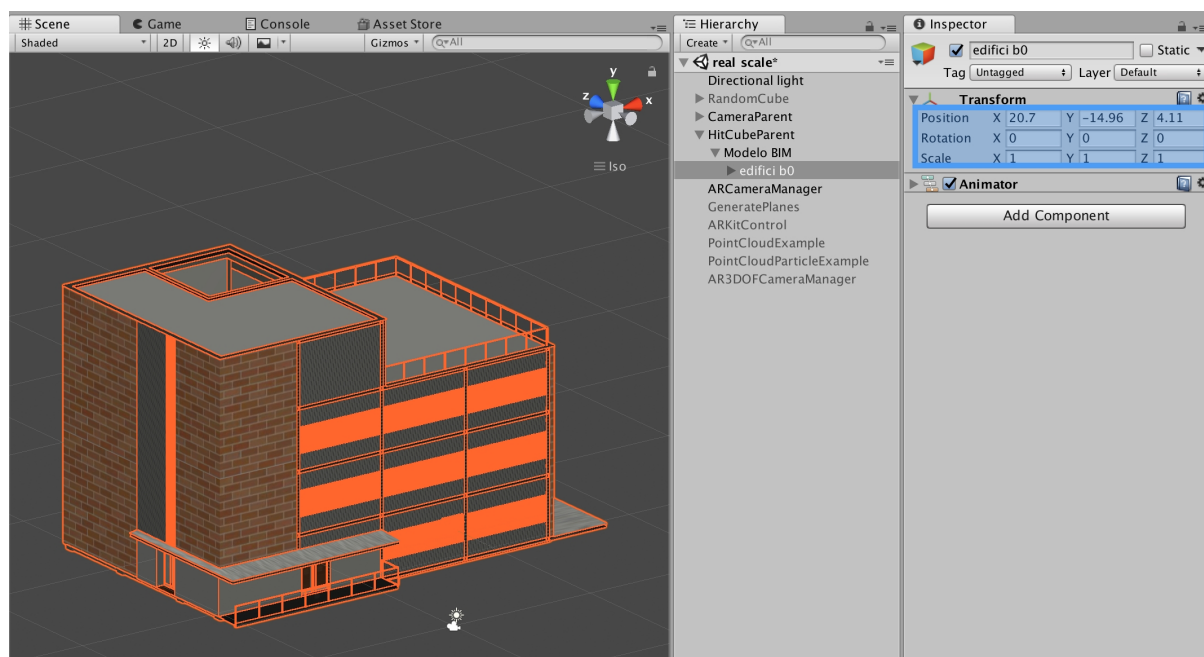


Figura 40. Ajuste de posición, escala y orientación del modelo BIM

Al ser un modelo de gran tamaño es necesario definir la distancia máxima a la que la cámara procesa la imagen. Esto se realiza en el inspector de la cámara principal (Main Camera), en la opción de planos de recorte. Se recomienda utilizar los valores de 0.1m para la mínima (Near) cercana y 1000m para la máxima (Far)

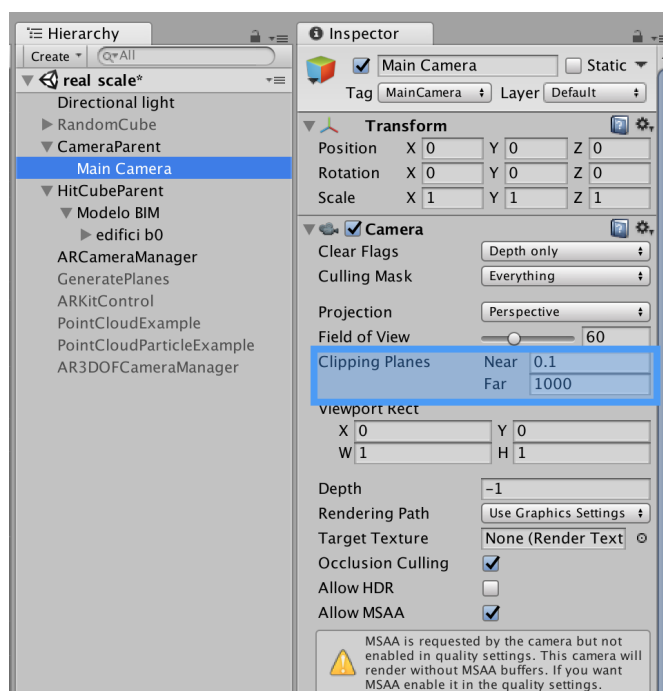


Figura 41. Configuración de los planos de recorte de la cámara

Una vez finalizados estos ajustes se procede a exportar para dispositivos iOS e instalar.

Análisis de los resultados

Se realizó una serie de pruebas de la aplicación en un espacio abierto con la intención de visualizar el modelo BIM del edificio y poder recorrerlo internamente. En una de estas pruebas se posicionó el modelo BIM del edificio B0 de la Universidad Politécnica de Cataluña, al frente de la biblioteca del Campus Nord de esta misma universidad.

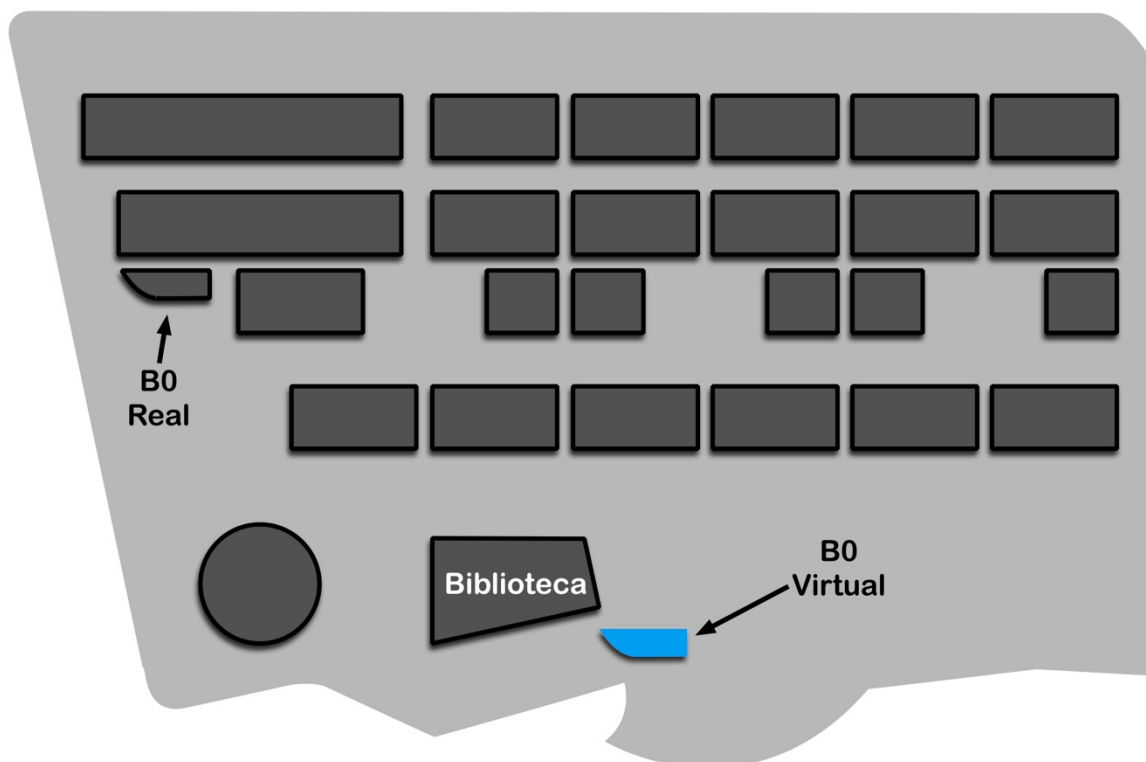


Figura 42. Ubicación de modelo BIM en el Campus Nord de la Universidad Politécnica de Cataluña

En las siguientes imágenes se presentan capturas de pantalla de la aplicación durante la prueba de recorrido virtual frente a la biblioteca de la universidad.

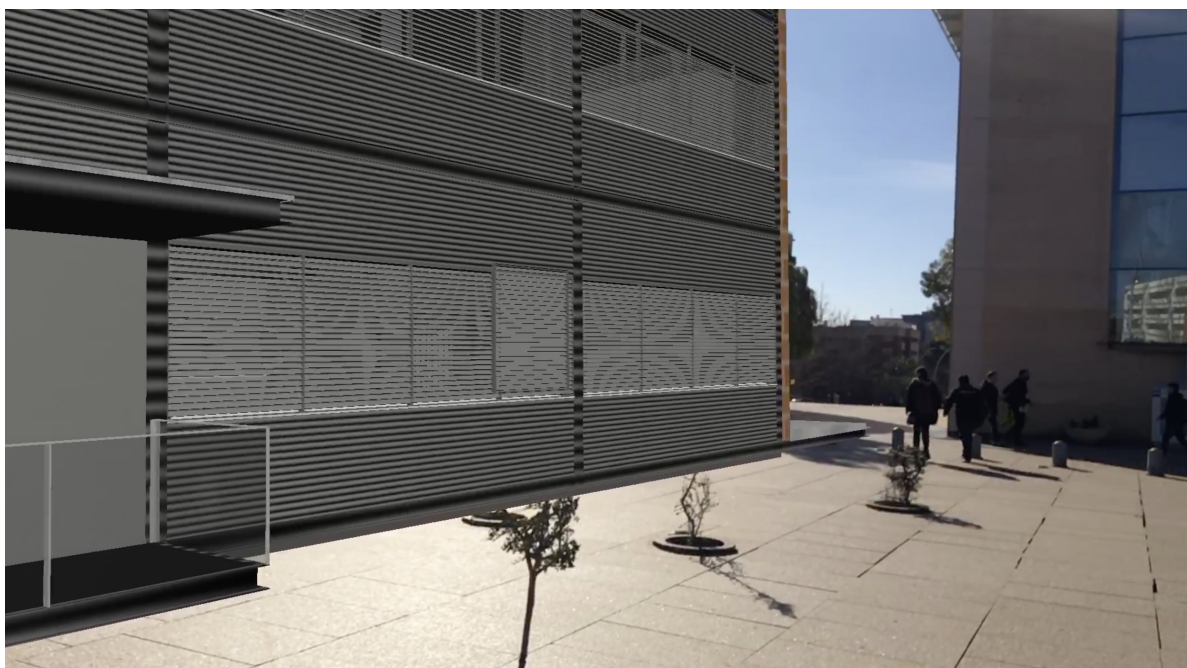


Figura 43. Vista exterior del modelo BIM a escala real representado en realidad aumentada sobre un espacio abierto



Figura 44. Vista interior del modelo BIM durante recorrido virtual con realidad aumentada

Se puede observar que la aplicación permite la visualización simultánea del entorno físico y del edificio virtual en su totalidad tanto en el exterior como en el interior. Además, la realidad aumentada permite anclar su posición sobre un entorno físico permitiendo recorrer su interior tal y como si se encontrara físicamente en el lugar.

Realizando las pruebas sobre un espacio abierto y a plena luz del día, la aplicación mantiene una precisión adecuada para poder hacer el recorrido por dentro y fuera de la estructura. La forma irregular del terreno real permite la detección de suficientes patrones visuales que a su vez permiten mantener un seguimiento eficiente del movimiento. Sin embargo, debido a que la tecnología utiliza patrones visuales es importante realizar el recorrido con una iluminación suficiente que permita a la cámara detectar el entorno. Del mismo modo se experimentó dificultades para realizar el seguimiento en superficies sin suficientes elementos visuales distintivos.

Como pruebas adicionales se intentó con éxito alejar varios metros del lugar de anclaje del modelo sin perder su posición y manteniendo su visualización en todo momento. Además, se logró visualizar la planta superior del modelo BIM, al elevar la posición vertical del observador.

Finalmente se realizó una segunda prueba para confirmar que los modelos virtuales se visualizan en tamaño real en el entorno físico. Para ello se utilizó el modelo de una regla de 2.5 metros a escala real y se posicionó al lado de una cinta métrica, además se han resaltado en blanco las distancias reales de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 metros con cuadros blancos. En las siguientes imágenes se muestra la regla virtual y las dimensiones reales.



Figura 45. Comprobación de escala real en entorno físico

Como se puede observar en la figura anterior, la escala se mantiene a los 2 metros de altura sin error aparente. Con esto se confirma que la representación de los elementos en su escala real está siendo realizada correctamente por la aplicación.

Inspección aumentada

El siguiente objetivo en la búsqueda de llevar la información BIM al entorno real es poder visualizar la información virtual en una posición y orientación específica sobre su contraparte real. Para ello se plantea el desarrollo de una aplicación que permita la visualización los elementos estructurales, mecánicos y eléctricos provenientes de un modelo BIM sobre la imagen real del edificio construido.

De esta forma se parte de un nuevo proyecto 3D en Unity haciendo uso del escenario de ARKit con la misma metodología usada anteriormente.

Ajuste y preparación del modelo BIM

Para esta aplicación se ha modificado en Revit el modelo BIM detallado del edificio B0 de la Universidad Politécnica de Cataluña para que solo muestre los elementos presentes en la primera planta. Además, se añaden ejemplos de armaduras en los pilares. Este modelo se exporta a fbx, se introduce en el proyecto de Unity y en el escenario bajo el objeto “HitCubeParent”.

Con el objetivo de agrupar los diferentes elementos por categorías, se crean 6 nuevos objetos de la siguiente manera.

- **Electrical System:** Incluye el sistema eléctrico del edificio y se aplica un material de color rojo para identificarlo.

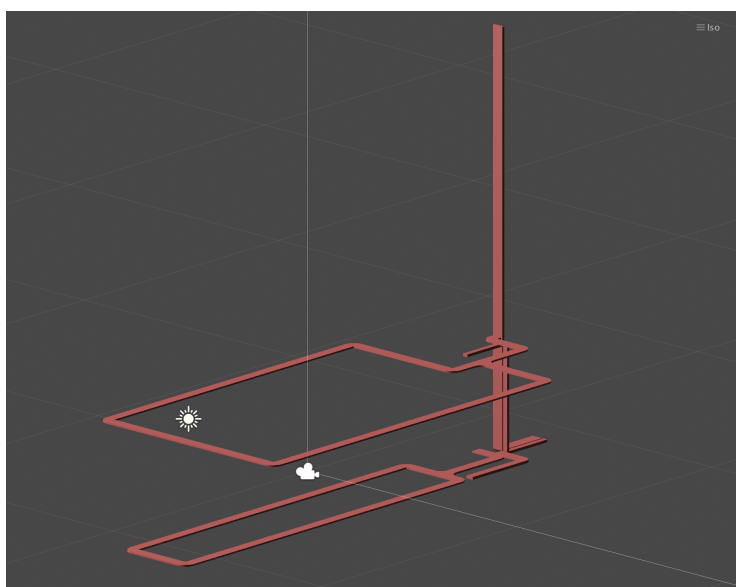


Figura 46. Sistema eléctrico

- **Mechanical System:** Incluye los elementos pertenecientes al aire acondicionado (ductos y rejillas). Se identifican con un material de color azul.

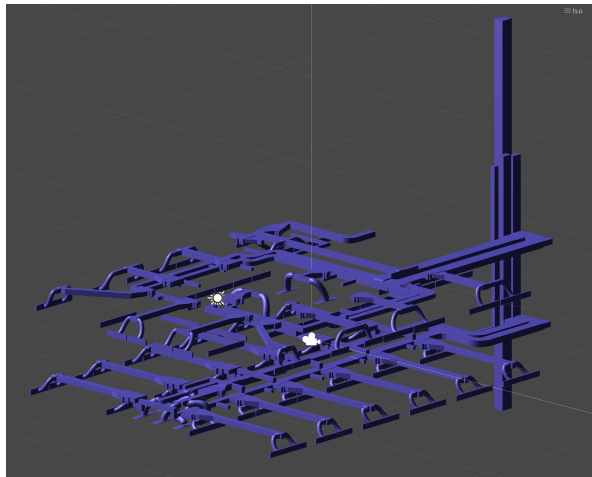


Figura 47. Sistema mecánico

- **Structure:** Incluye las vigas y pilares de la primera planta del edificio. Material de color Gris.

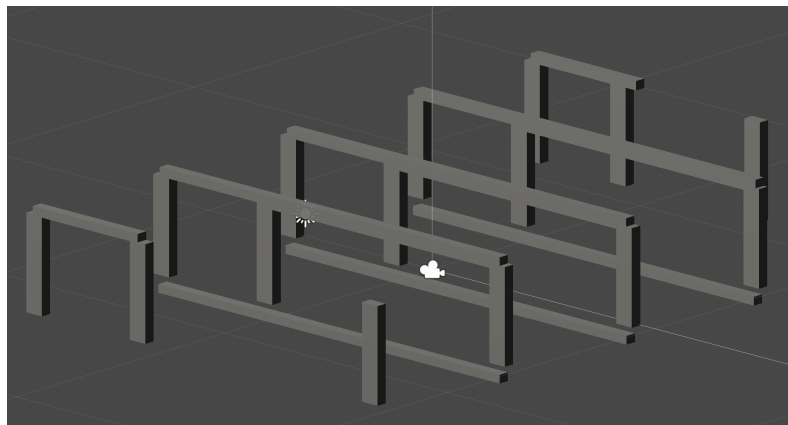


Figura 48. Sistema estructural

- **Rebar:** Incluye todas las armaduras de los pilares. Material de color Gris.

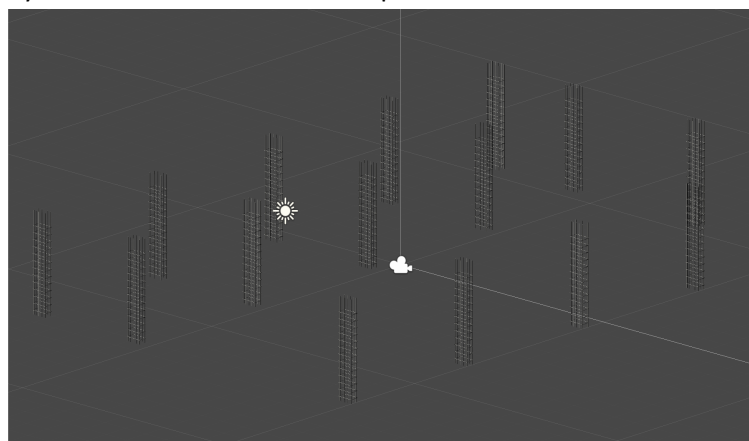


Figura 49. Armadura de pilares

- **Floor:** Incluye la losa inferior y el falso techo de la primera planta. Se aplicó un material translúcido con una cuadrícula para poder observar a través de él. Esta categoría permite un mejor entendimiento de la ubicación del resto de los elementos.

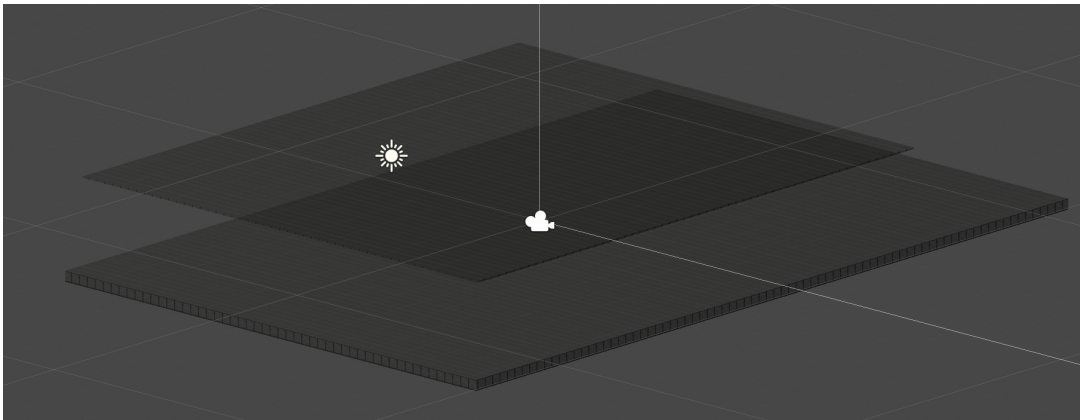


Figura 50. Losa y falso techo

- **Walls:** Incluye todas las paredes internas de la planta, así como también las puertas. Se aplicó un material marrón a las puertas y translúcido con líneas verticales a las paredes.



Figura 51. Paredes y puertas

Estos objetos se colocan como hijos de otro nuevo objeto al cual llamamos “Modelo BIM”, que a su vez es hijo del objeto “HitCubeParent”.

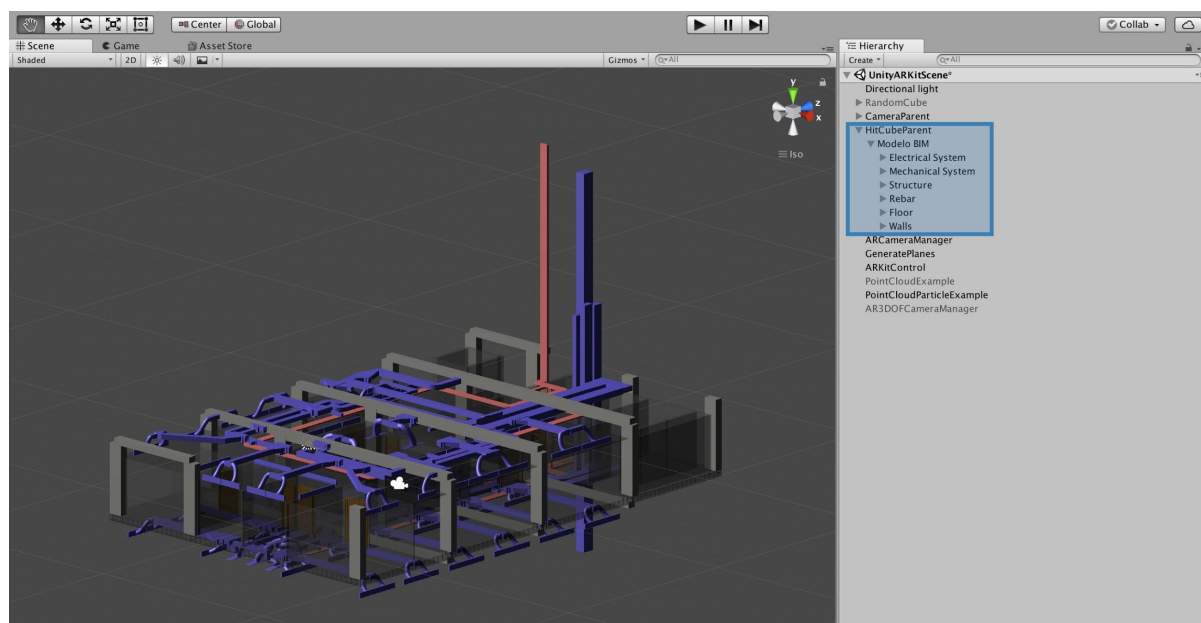


Figura 52. Agrupación de elementos y modelo final utilizado

Interfaz de uso

A pesar de que el modelo contiene información de interés acerca de varios elementos de la construcción, puede llegar a ser demasiado para ser visualizado todo de forma simultánea. Es conveniente que durante la inspección de la edificación se tenga la capacidad de activar y desactivar ciertos elementos de forma que facilite el entendimiento de lo que se observa.

Para ello se han implementado botones virtuales en la pantalla del dispositivo. Unity permite la creación sencilla de botones en el menú `GameObject/UI/Button`. Al seleccionar esta opción se genera en el escenario un nuevo objeto que contiene los límites de la interfaz de la aplicación (Canvas) y otro objeto hijo con el botón creado. En el inspector del objeto se encuentra el componente de transformación con el cual se modifica su tamaño y posición.

Existe además como hijo del objeto “Button”, el objeto “Text” a través del cual podemos modificar el texto mostrado sobre botón.

Una vez ubicado el objeto se prosigue a configurar el botón en el objeto “button”. En él se encuentra la opción “On Click” que permite definir la función del botón al ser presionado. Se añade la función presionando el símbolo “+”, se introduce el objeto que contiene los elementos que se desean activar o desactivar y se selecciona la función `GameObject/SetActive`. Al seleccionar esta función aparece un recuadro con el que se indica si el botón al ser presionado activa el modelo (true) o lo desactiva (false).

Los botones creados no permiten alternar entre encender y apagar el modelo por lo que se debe utilizar dos botones para esto. Con la intención de dar la sensación de que se está usando un solo botón se crean dos botones con las mismas dimensiones y posición, uno para activar el objeto y otro para desactivarlo. Estos botones además de activar/desactivar cierta parte del modelo BIM, se les

asigna la función de activar al otro y desactivarse a sí mismos. De esta forma sólo será visible el botón que realice la función deseada.

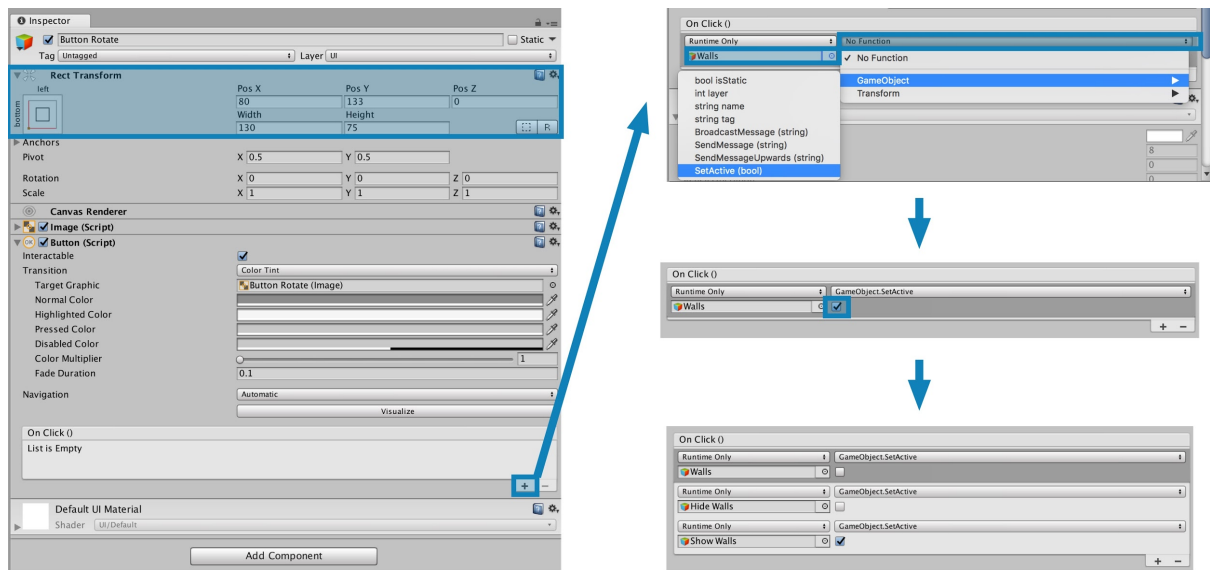


Figura 53. Configuración de botón

Se realiza el mismo proceso para cada uno de los objetos Electrical System, Mechanical System, Walls y Floor.

Para las armaduras y elementos estructurales se han implementados los botones de tal forma que al presionarlos se activen y desactiven los elementos con la siguiente secuencia.

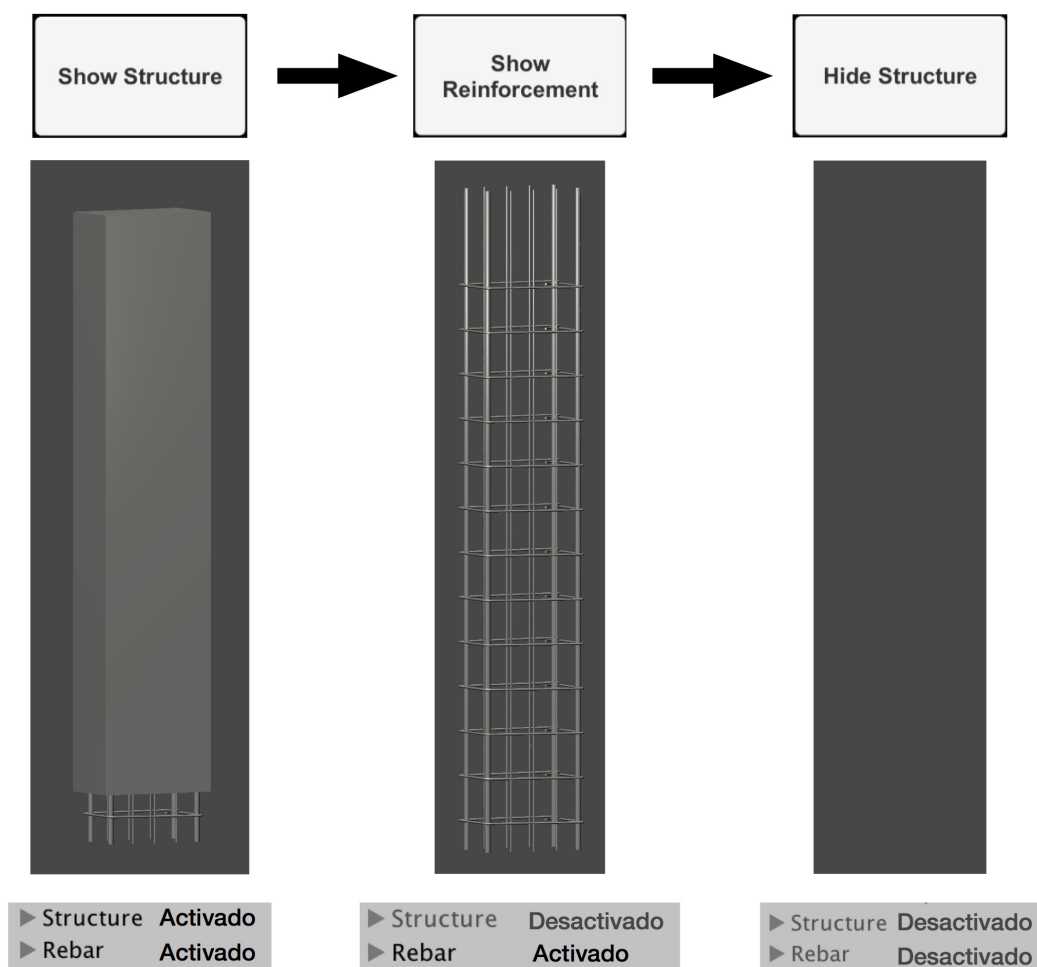


Figura 54. Secuencia de uso del botón de estructuras y armaduras

Existe un inconveniente con el uso de botones virtuales y el script "UnityARHitTestExample.cs" utilizado. Este script permite posicionar el modelo BIM sobre una superficie real al tocar la pantalla del dispositivo, sin embargo, esto no es conveniente que ocurra cada vez que se presiona algún botón. Para solucionarlo es necesario modificar el script para indicar que la función de transformación del modelo BIM no sea activada al presionar algún objeto o en este caso un botón. En la siguiente figura se muestra el Script modificado con los cambios resaltados.

```

1 using System;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine.Events;
4
5 namespace UnityEngine.XR.iOS
6 {
7     public class UnityARHitTestExample : MonoBehaviour
8     {
9         public Transform m_HitTransform;
10
11         bool HitTestWithResultType (ARPoint point, ARHitTestResultType resultTypes)
12         {
13             List<ARHitTestResult> hitResults = UnityARSessionNativeInterface.GetARSessionNativeInterface ().HitTest (point, resultTypes);
14             if (hitResults.Count > 0) {
15                 foreach (var hitResult in hitResults) {
16                     Debug.Log ("Got hit!");
17                     m_HitTransform.position = UnityARMatrixOps.GetPosition (hitResult.worldTransform);
18                     m_HitTransform.rotation = UnityARMatrixOps.GetRotation (hitResult.worldTransform);
19                     Debug.Log (String.Format ("x:{0:0.#####} y:{1:0.#####} z:{2:0.#####}", m_HitTransform.position.x, m_HitTransform.position.y, m_HitTransform.position.z));
20                     return true;
21                 }
22             }
23             return false;
24         }
25
26         // Update is called once per frame
27         void Update () {
28             if (Input.touchCount > 0 && m_HitTransform != null)
29             {
30                 var touch = Input.GetTouch(0);
31                 if (touch.phase == TouchPhase.Began && !EventSystem.current.IsPointerOverGameObject(0) || touch.phase == TouchPhase.Moved && !EventSystem.current.IsPointerOverGameObject(0))
32                 {
33                     transform.localPosition = Vector3.zero;
34                     var screenPosition = Camera.main.ScreenToViewportPoint(touch.position);
35                     ARPoint point = new ARPoint {
36                         x = screenPosition.x,
37                         y = screenPosition.y
38                     };
39
40                     // prioritize results types
41                     ARHitTestResultType[] resultTypes = {
42                         ARHitTestResultType.ARHitTestResultTypeExistingPlaneUsingExtent,
43                         // if you want to use infinite planes use this:
44                         //ARHitTestResultType.ARHitTestResultTypeExistingPlane,
45                         ARHitTestResultType.ARHitTestResultTypeHorizontalPlane,
46                         ARHitTestResultType.ARHitTestResultTypeFeaturePoint
47                     };
48
49                     foreach (ARHitTestResultType resultType in resultTypes)
50                     {
51                         if (HitTestWithResultType (point, resultType))
52                         {
53                             return;
54                         }
55                     }
56                 }
57             }
58         }
59     }
60 }
61
62 }

```

Figura 55. Script UnityARHitTestExample modificado

Posicionamiento del modelo BIM

Hasta ahora se ha conseguido posicionar un modelo BIM sobre una superficie cualquiera, sin embargo, para este proyecto se necesita anclar los elementos virtuales en una posición específica en el entorno real que coincida con las coordenadas reales del edificio.

Para resolver este problema, primero se identifica un punto de referencia tanto en el modelo BIM como en el edificio real, posicionado a la altura del suelo, con fácil acceso y lo más céntrica posible para reducir el error de precisión en los elementos más lejanos del modelo. Una vez identificado el punto de referencia, se debe transformar por igual la posición de los 6 objetos que contienen los modelos de forma que este punto se ubique en la coordenada 0,0,0 del escenario. Esto permitirá que sea el punto de referencia en el modelo el que se posicione en el lugar donde se toque la pantalla del dispositivo y de esta forma poder manualmente ajustarla a la posición real.

En este caso se utiliza la esquina inferior izquierda de la puerta más céntrica del edificio. Se utilizó provisionalmente el modelo de un cubo ubicado en la coordenada 0,0,0 como guía para transformar la posición del modelo BIM a la coordenada deseada.

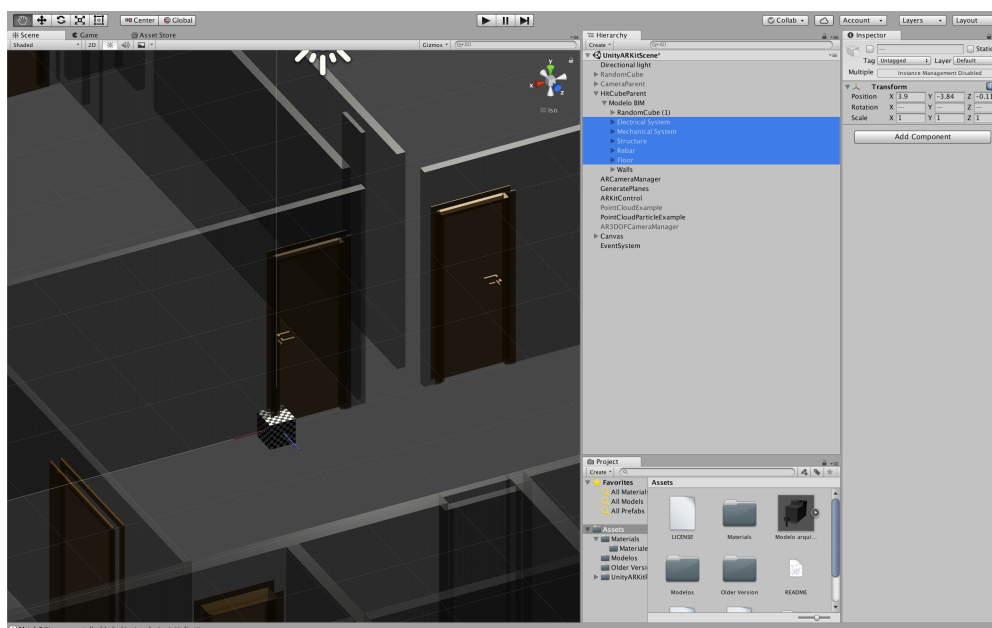


Figura 56. Ajuste de transformada de modelo BIM respecto a un punto de referencia

Una vez transformado el modelo, se oculta el objeto del cubo utilizado como referencia.

Orientación del modelo BIM

La segunda parte para lograr el encaje del modelo BIM en el entorno real consiste en ajustar la orientación del modelo. El método utilizado hasta ahora define los parámetros de orientación en base a superficies horizontales reales que detecta el sistema. Sin embargo, estos planos sólo poseen información de los ejes X y Z.

Para determinar la rotación adecuada del eje Y del modelo BIM en el escenario virtual, se debe definir el ángulo de orientación de éste en el entorno real. Esto se logra mediante un script sencillo que utiliza el punto de referencia fijado anteriormente y la posición actual de la cámara. De esta forma se puede saber el ángulo de rotación del observador respecto al punto de referencia. Este valor es luego utilizado para transformar el modelo de tal forma que el eje Y de ambos entornos real y virtual se alineen.

```

1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4
5 public class ModelControl : MonoBehaviour {
6
7     public void LookAt(){
8
9         transform.LookAt (Camera.main.transform.position);
10        transform.eulerAngles = new Vector3 (0, transform.eulerAngles.y, 0);
11    }
12 }

```

Figura 57. Script para ajuste de orientación del modelo BIM

Para implementar este script en la aplicación primero se agrega un nuevo componente desde el inspector del objeto que contiene el modelo BIM. Este componente es un “New Script” en el lenguaje C sharp el cual nombraremos “ModelControl”. Creado el componente se prosigue a editar y se introduce el script mostrado en la figura anterior.

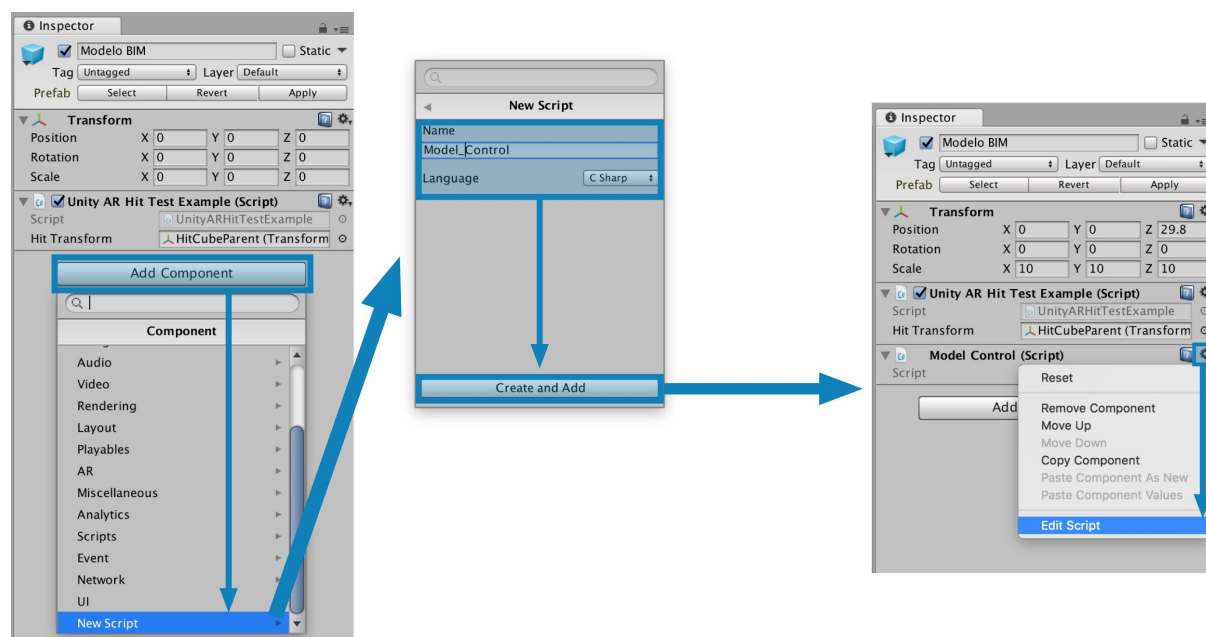


Figura 58. Creación de script como componente del modelo BIM

Lo siguiente consiste en habilitar el uso del script a través de un nuevo botón. En el inspector de este nuevo botón se introduce el objeto del modelo BIM (que incluye los objetos de las distintas categorías) y se selecciona la función ModelControl/LookAt. La combinación del script y el botón permite que el modelo rote de tal forma que su eje “Y” se alinee con la posición del observador y el punto de referencia en el instante en el que el botón es presionado.

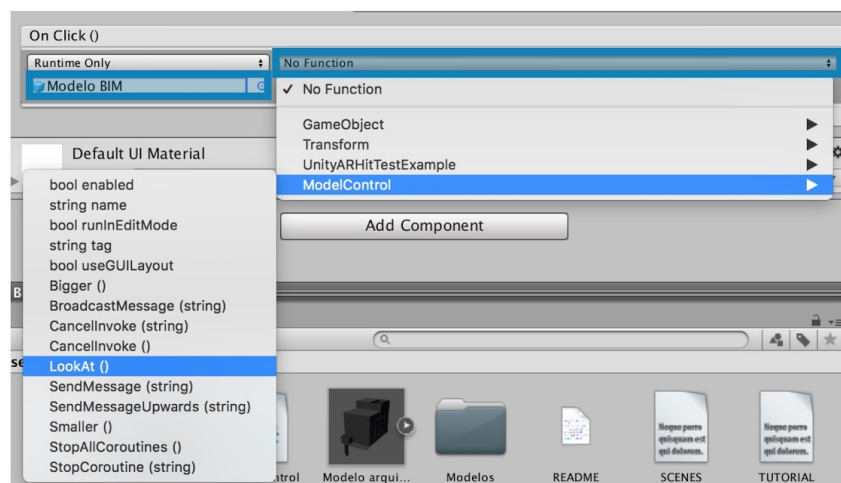


Figura 59. Configuración de botón de rotación

En la siguiente figura se muestra la distribución final de botones. Los botones inferiores tienen la función de activar y desactivar las diferentes partes del modelo BIM. El botón superior (Rotate) tiene la función de ajustar la orientación del modelo respecto a la posición del observador.

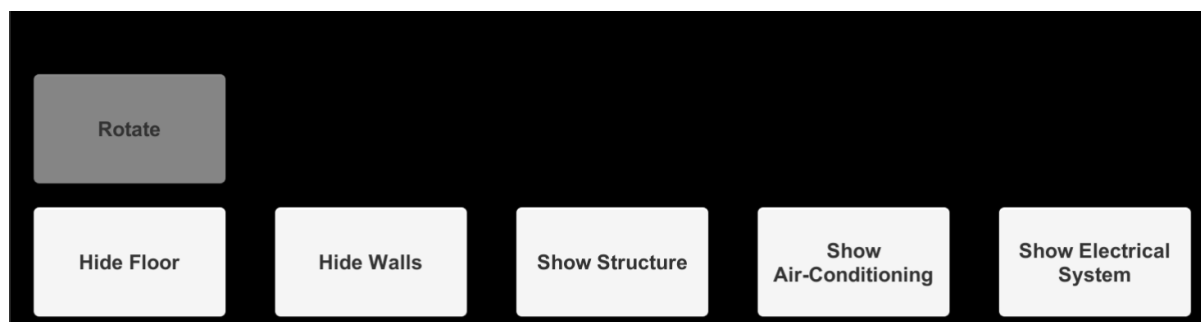


Figura 60. Distribución final de botones

Con esto se completa el desarrollo de la aplicación y se prosigue a su exportación para iOS e instalación.

Uso de la aplicación

Para el correcto funcionamiento del sistema de seguimiento es necesario hacer un reconocimiento inicial del entorno real. Esto se logra trasladando el dispositivo para que detecte patrones visuales en la superficie y determine las superficies horizontales que se observan.

El siguiente paso consiste en acercarse al punto de referencia elegido durante el desarrollo. Desde el dispositivo se toca la pantalla en la posición mencionada hasta posicionarlo correctamente.

Por último, hay que posicionarse dentro de la dirección del eje “y” y presionar el botón de rotación. Es recomendable estar a una distancia superior a dos metros del punto de referencia para tener más precisión en la orientación.

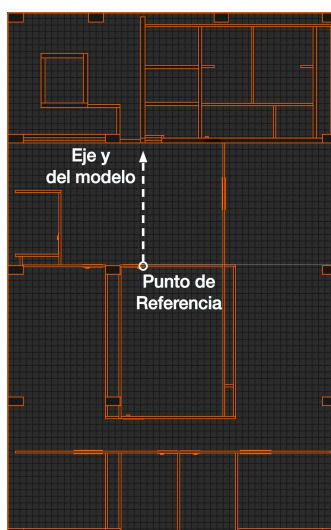
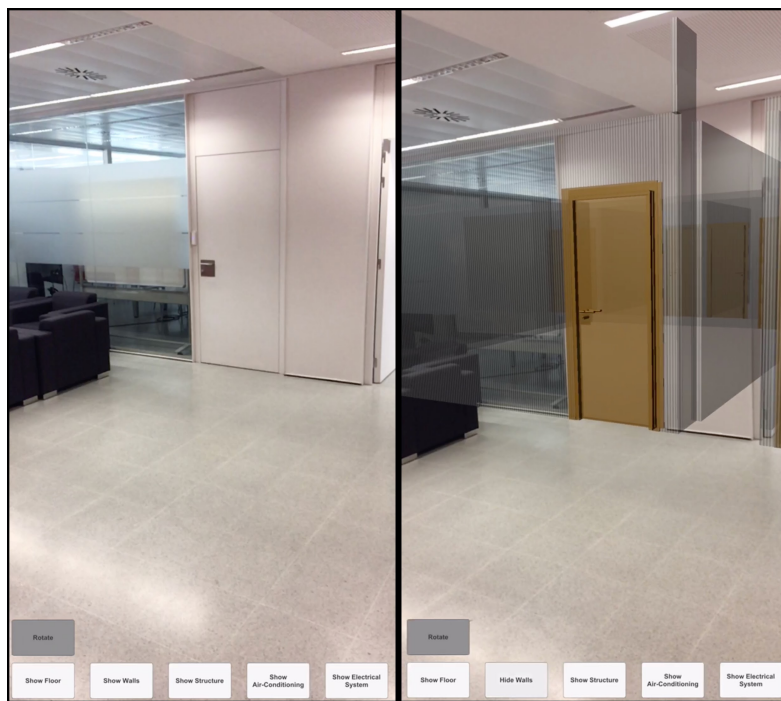


Figura 61. Detalle de punto de referencia y eje “y” para posicionamiento y orientación del modelo BIM

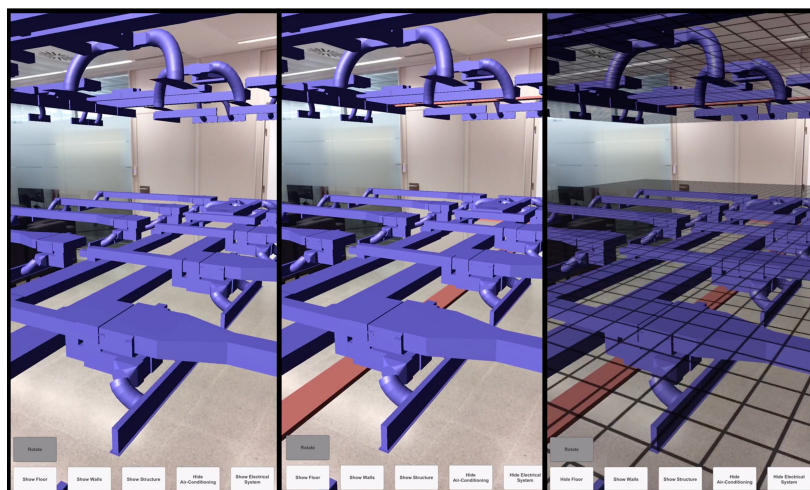
Análisis de los resultados

A continuación, se presentan una serie de capturas de pantalla de la aplicación resultante, durante unas pruebas de inspección del edificio B0 de la Universidad Politécnica de Cataluña. La primera de esta serie de imágenes muestra la congruencia entre el entorno real y los elementos virtuales de los sistemas del edificio.



Entorno Real

**Activación de puertas
y paredes**



**Activación de
sistema de aire
acondicionado**

**Activación de
sistema eléctrico**

**Activación de losa
y falso techo**

Figura 62. Vista de realidad aumentada de sistemas del edificio

En la siguiente serie se muestran los elementos estructurales desde la perspectiva interior del edificio, así como la armadura pasiva de los pilares.

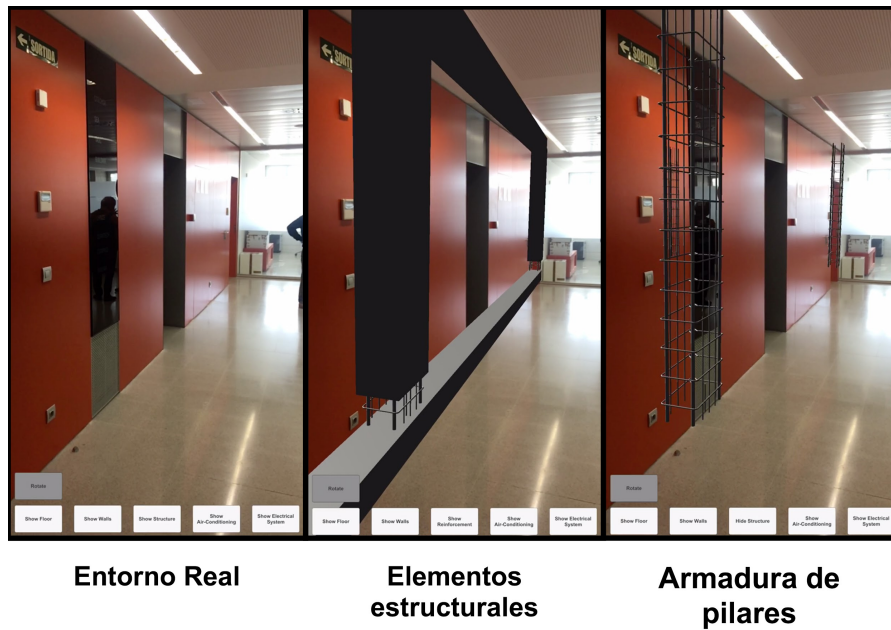


Figura 63. Vista de interna del edificio con elementos estructurales en realidad aumentada

Del mismo modo en la siguiente serie se muestran los elementos estructurales y armadura pasiva de pilares desde una perspectiva exterior del edificio.



Figura 64. Vista externa del edificio con elementos estructurales en realidad aumentada

La aplicación resultante permite visualizar los elementos virtuales satisfactoriamente sobre la imagen del entorno real. Este permite recorrer la planta del edificio y visualizar los elementos ocultos tras las paredes, losa, techo y pilares.

Se ha logrado anclar de forma satisfactoria el eje de coordenadas virtual con el real manteniendo una orientación correcta. Mediante la comparación de la posición de elementos visibles tanto en el modelo BIM como en la realidad como las paredes, puertas y losas, se puede comprobar visualmente que se mantiene correctamente el seguimiento del movimiento del dispositivo y que el modelo virtual encaja con el entorno real.

Se pudo observar un aumento progresivo en el error de precisión del modelo BIM al realizar movimientos bruscos y enfocar superficies lisas que no presenten patrones fáciles de detectar por el dispositivo. El programa realiza un ajuste de este error al detectar nuevamente patrones anteriores. Sin embargo, es recomendable evitar en lo posible movimientos rápidos del dispositivo, interrumpir la imagen o enfocar la cámara sobre alguna imagen con escasos patrones reconocibles.

Es importante destacar que el valor de la herramienta está relacionada directamente a la calidad y veracidad del modelo BIM que se utilice. Las incongruencias entre el modelo BIM y lo realmente construido se pueden visualizar con facilidad al realizar la inspección aumentada. Esto puede ser beneficioso si se pretende identificar estas diferencias.

Por último, es necesario mencionar que a pesar de que el uso de botones para controlar la activación de los elementos virtuales, se ha experimentado dificultad para entender la imagen al utilizar una gran cantidad de elementos debido a que ARKit superpone todos estos elementos opacando la imagen real. Se recomienda evitar saturar la imagen aumentada con exceso de elementos.

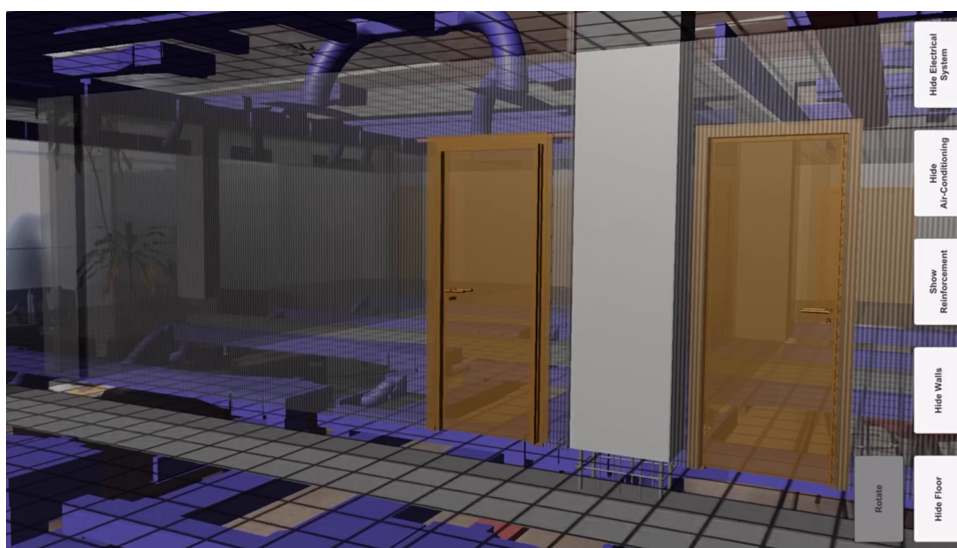


Figura 65. Imagen aumentada con todos los elementos disponibles

Capítulo IV: Caso de uso aplicado

Este capítulo busca la aplicación de las soluciones logradas en el capítulo anterior para hacer uso de la información BIM y la realidad aumentada como herramienta de utilidad en la etapa de ejecución de una obra. Para ello se plantea el caso de uso de inspección aumentada de armaduras pasivas en pilares previo al vertido del hormigón.

Respecto al control del proceso de montaje de las armaduras pasivas, la Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08) en el artículo 95º establece la obligación de una correcta inspección estipulando lo siguiente:

“Antes del montaje de las armaduras, se deberán efectuar las inspecciones adecuadas para constatar que el proceso de armado de las mismas, mediante atado por alambre o por soldadura no resistente, se ha efectuado conforme a lo indicado en el Artículo 69º de esta Instrucción...”

Preferiblemente antes de colocación en los moldes o encofrados y, en cualquier caso, antes del vertido del hormigón, se comprobará la geometría real de la armadura montada y su correspondencia con los planos de proyecto. Así mismo, se comprobará la disposición de los separadores, la distancia entre los mismos y sus dimensiones, de manera que garanticen que en ningún punto de la estructura existan recubrimientos reales inferiores a los mínimos establecidos por esta Instrucción” [24]

Este caso de uso se ha desarrollado en colaboración de la empresa COMSA para aplicar las soluciones de realidad aumentada en la construcción del edificio de oficinas Barcelonesa de inmuebles ubicado en la ciudad de Barcelona.

Planteamiento del problema

Actualmente y previo al vertido del hormigón en cada pilar de la obra, un representante de la dirección facultativa debe confirmar el correcto montaje de las armaduras pasivas a través de una inspección. Esta se realiza comparando lo ejecutado con el cuadro de pilares de la zona, el número de barras y estribos, así como también el espaciamiento entre ellas.

Sin embargo, al ser un gran número de pilares en distintas ubicaciones, plantas y geometrías, puede llegar a ocurrir equivocaciones en el proceso de inspección producto de error humano al identificar el pilar correcto en el cuadro de pilares. Por otro lado, al realizarse la inspección puede cometerse un error en el momento de contar las barras u omitir involuntariamente la medición de algún espaciamiento.

Un error en el número de elementos o espaciamientos entre estos en armaduras pasivas puede conllevar a un mal comportamiento del elemento estructural que a su vez representa un riesgo en el resultado final de la edificación. Por esta razón es de especial interés el desarrollo de alguna herramienta que permita simplificar este proceso de inspección.

A continuación, se busca hacer uso de la realidad aumentada y el diseño en BIM de las armaduras pasivas de pilares, para visualizarlas sobre las armaduras reales a inspeccionar y con ello proporcionar una herramienta que facilite el proceso de inspección descrito anteriormente.

Desarrollo de la herramienta

Como en las soluciones anteriores, el desarrollo de la herramienta parte del modelo BIM del edificio. Sin embargo, a pesar de que la obra de la Barcelonesa posee un modelo BIM sencillo, este no incluye las armaduras pasivas de los pilares por lo que es necesario añadirlas desde Revit.

Debido a que la obra se encuentra en proceso durante el desarrollo de esta investigación, se han delimitado los pilares a inspeccionar a aquellos en la zona B-C de la primera planta tal como se muestra en la siguiente figura.

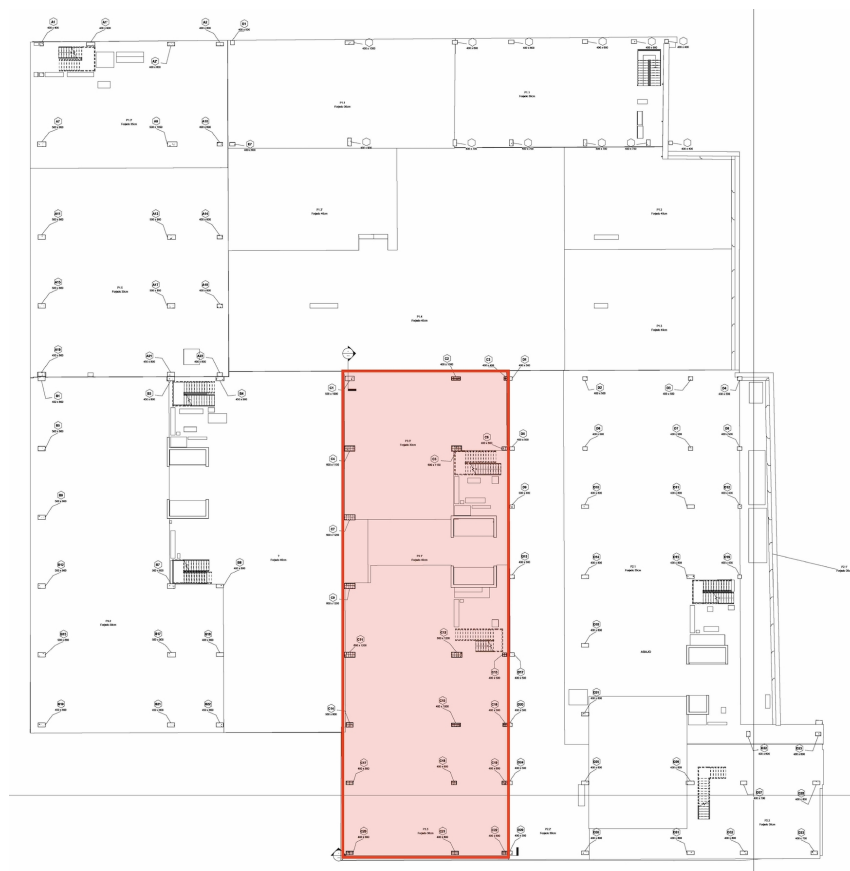


Figura 66. Zona B-C de la primera planta de la edificación proporcionado por COMSA

La armadura pasiva de cada pilar se modela tal y como se muestran en el cuadro de pilares proporcionada por COMSA. El resultado final se muestra en la siguiente figura.

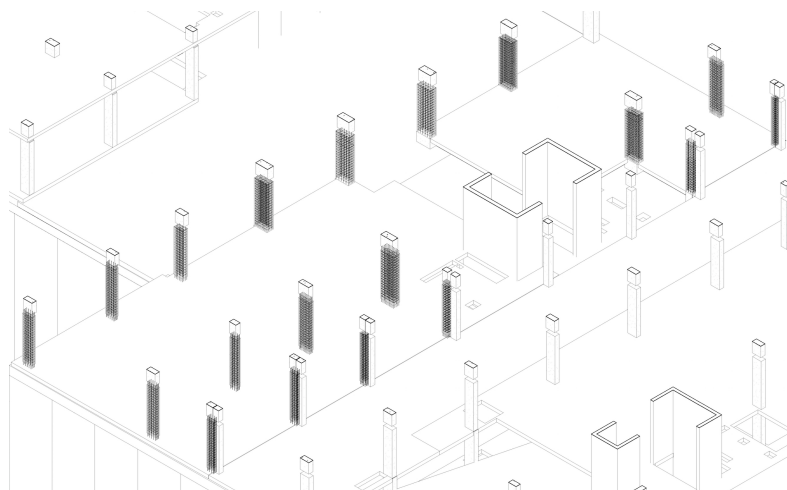


Figura 67. Modelo final de las armaduras pasivas de pilares en Revit

A continuación, se prosigue al desarrollo de la herramienta de realidad aumentada con una metodología similar a la presentada en el capítulo anterior para inspección aumentada.

Se exporta el modelo BIM de Revit al formato fbx y se importa a un nuevo proyecto tridimensional de Unity. Se descarga e importa el plugin de ARKit y se prepara el escenario “UnityARKitScene.unity” y se añade el modelo BIM de la Barcelonesa como hijo del objeto HitCubeParent. Este modelo incluye más elementos de los que se necesitan ya que contiene todos los pisos del edificio, por lo tanto, estos elementos se eliminan. El resto de los elementos se agrupan en objetos independientes de la siguiente manera:

- **Estructura:** Incluye los pilares de hormigón.

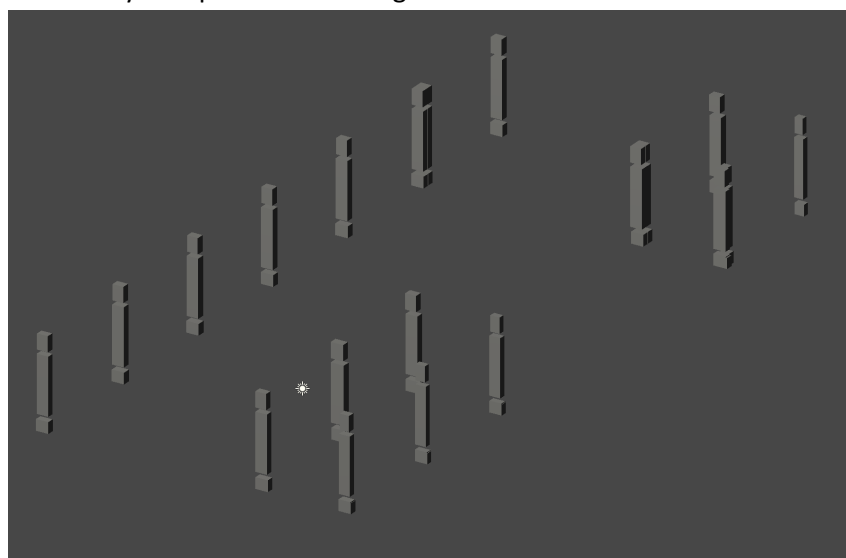


Figura 68. Pilares del modelo BIM

- **Armaduras:** Incluye exclusivamente las armaduras de los pilares.

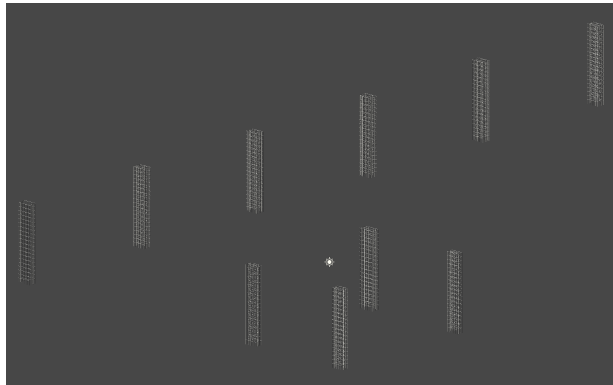


Figura 69. Armaduras del modelo BIM

- **Piso:** Incluye la losa inferior y superior del modelo BIM.

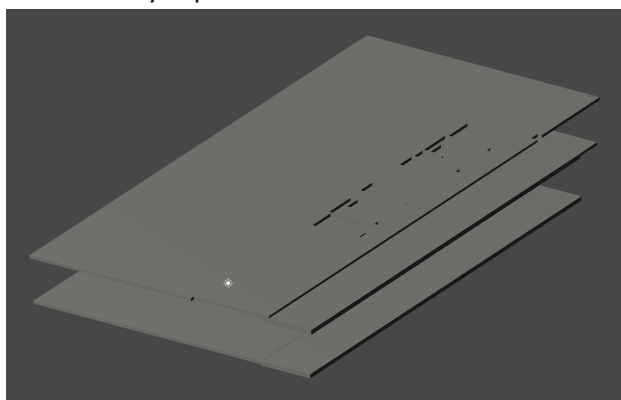


Figura 70. Losa inferior y superior

- **Otros:** Incluye escaleras y paredes del ducto del ascensor.

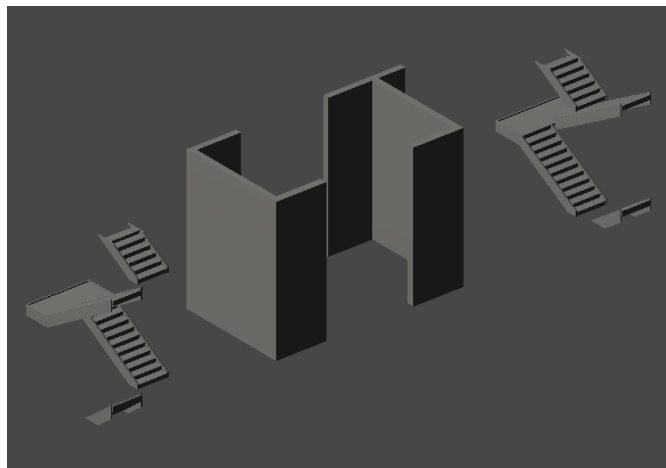


Figura 71. Otros elementos del modelo BIM

La siguiente imagen muestra el modelo final utilizado.

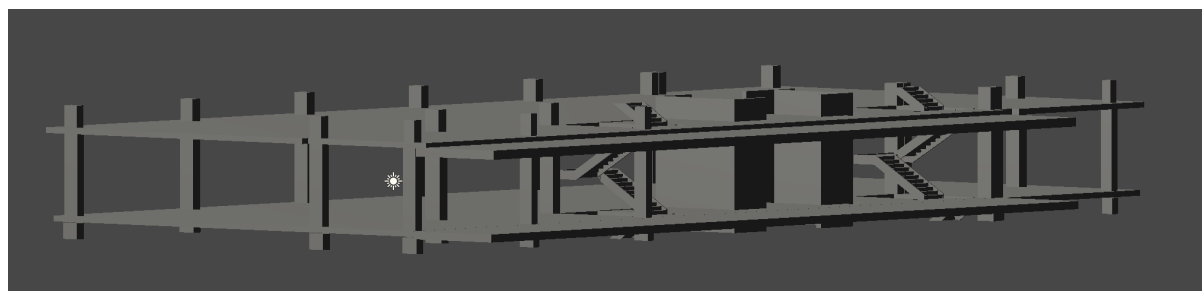


Figura 72. Modelo completo utilizado

Lo siguiente se trata de configurar el modelo BIM para posicionarlo y orientarlo correctamente en el entorno real. De la misma forma que en el caso anterior, lo primero consiste en definir un punto de referencia y una orientación. Con la intención de minimizar el error de posicionamiento, se elige ubicar este punto de referencia en una de las esquinas de los pilares y la orientación en el eje Z del modelo BIM. Esto se puede apreciar con más facilidad en la siguiente imagen.

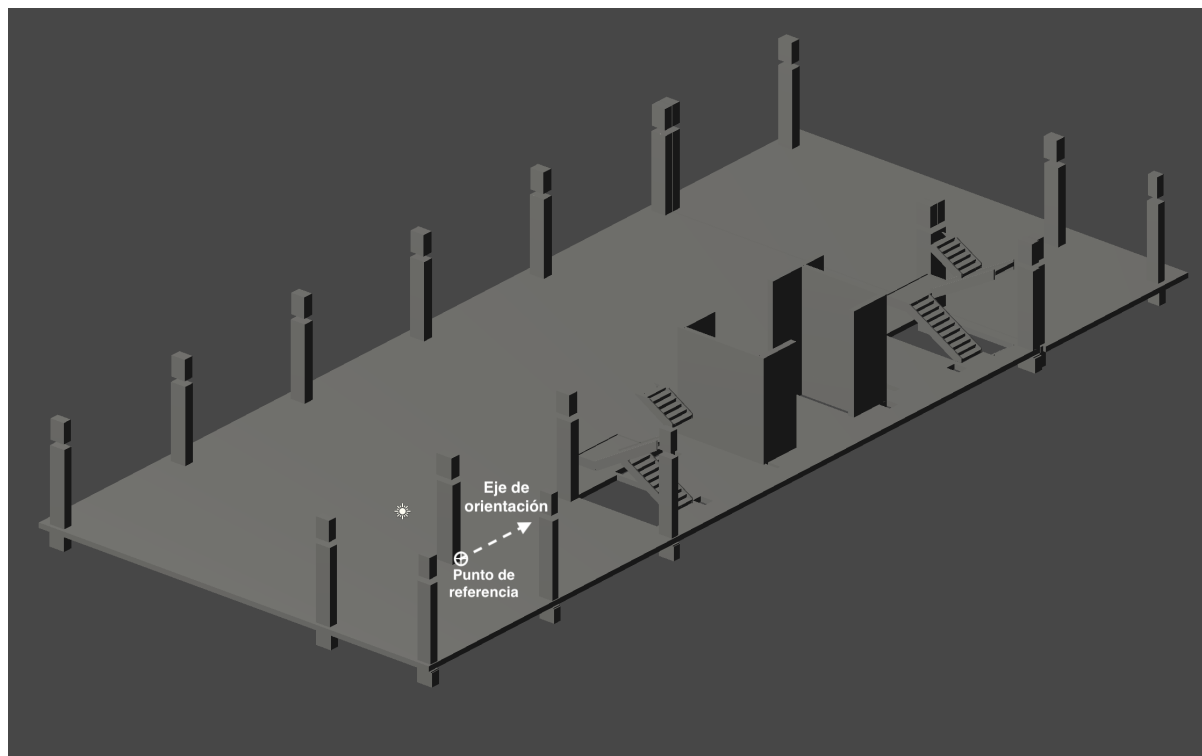


Figura 73. Punto de referencia y eje de rotación del modelo BIM para encaje en entorno real

Una vez definidos, se transforma el modelo BIM de tal forma que el punto de referencia esté ubicado en el origen (coordenadas 0,0,0) y se rota para coincidir el con el eje de rotación. También se debe asegurar que el modelo BIM tenga definida la escala igual a 1 (escala real).

Por último, se configuran los botones de interfaz de usuario de la misma forma que en el caso anterior. En este caso se utilizarán cuatro botones, tres de ellos para encender y apagar distintas partes del modelo BIM y un cuarto botón para para ajustar la orientación del modelo. Es importante

recordar que este último se debe configurar con el script de la figura 56 y que es necesario modificar el script UnityARHitTestExample tal como se muestra en la figura 54.



Figura 74. Disposición de botones

Con esto se culmina el desarrollo de la aplicación. A continuación, se exporta el modelo BIM para dispositivos iOS y se instala en el dispositivo a través de Xcode tal y como se hizo en las aplicaciones anteriores.

Análisis de los resultados

Se realizó una prueba de campo en la construcción del edificio de la Barcelonesa con la intención de evaluar el funcionamiento de la aplicación desarrollada.

La aplicación resultante permite superponer la armadura del diseño BIM sobre la armadura real. La siguiente figura muestra capturas de pantalla de la aplicación durante la inspección de uno de los pilares. En ella se puede visualizar la imagen del dispositivo con y sin la armadura virtual superpuesta. Los cuadros azules representan las superficies horizontales detectadas automáticamente por la aplicación.

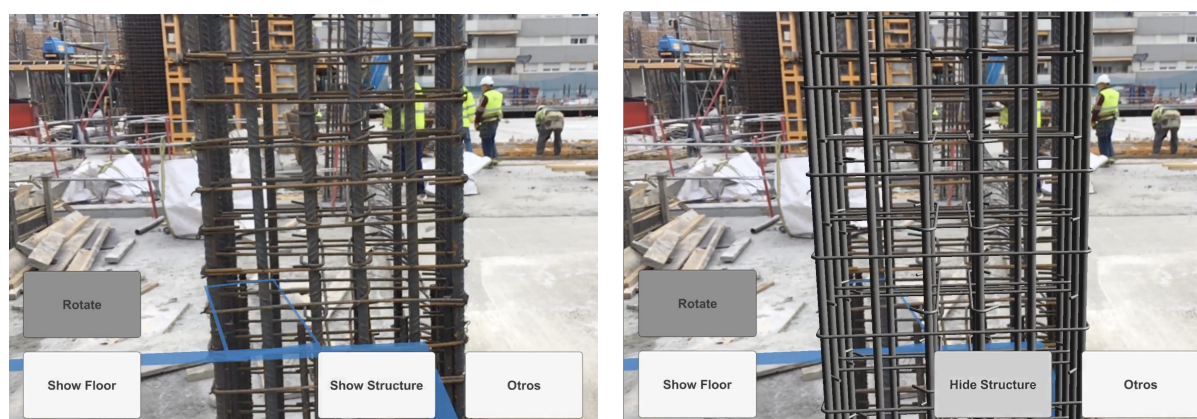


Figura 75. Comparativa de la armadura real (izquierda, con la armadura virtual superpuesta)

Esta herramienta permite hacer una comparativa rápida entre el diseño y lo ejecutado, esto a su vez facilita al inspector detectar diferencias en el número de elementos y comparar visualmente separaciones entre barras.

Además, al estar todas las armaduras en un mismo modelo BIM, al ser posicionado correctamente en el entorno real los pilares que contiene también se posicionan sobre su contraparte real, por lo que no es necesario su identificación en el momento de realizar su inspección.

Sin embargo, se han detectado una serie de inconvenientes que son importantes mencionar. Al tener que ajustar manualmente la posición y orientación del modelo BIM, se tiende a percibir cierto error en la ubicación de los elementos. A pesar de que cerca del punto de referencia utilizado para posicionar el modelo BIM no se percibe mayor error de posicionamiento, al alejarse de este hacia los elementos más apartados se aprecia un aumento de este error. En la siguiente figura se puede observar el error de posición del modelo BIM de aproximadamente 5 cm experimentado en un pilar alejado a 4,5 metros del punto de referencia.

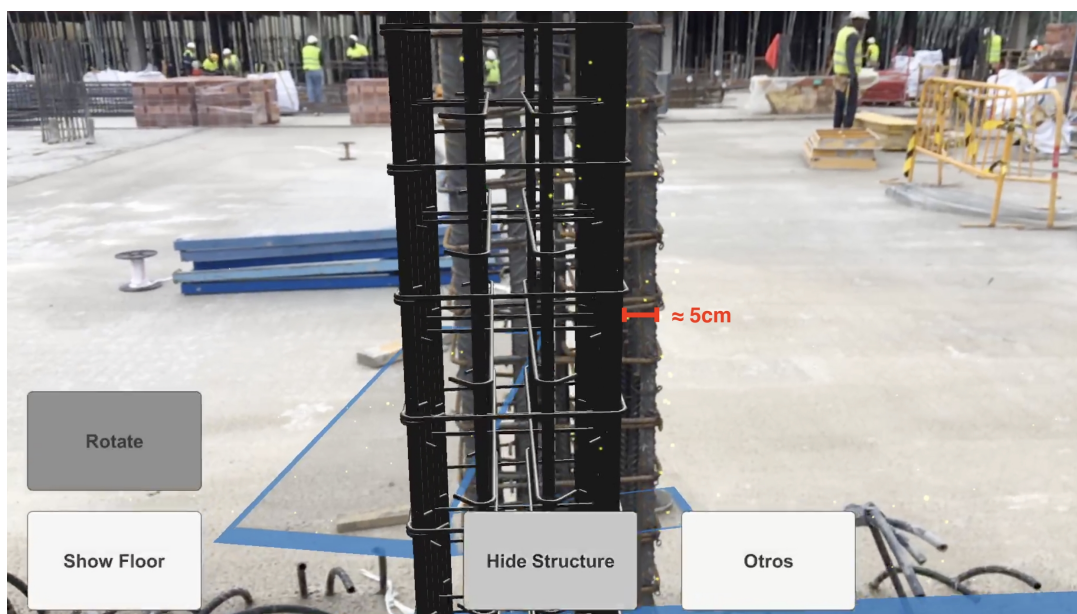


Figura 76. Error de posicionamiento del modelo BIM

Este error puede corregirse utilizando un modelo independiente para cada uno de los pilares, de tal forma que puedan ser ajustados con mayor precisión.

Por otro lado, al ser las armaduras montadas manualmente, en la mayoría de los casos las barras se encuentran ligeramente desplazadas de su posición original de diseño. Por este motivo se observa cierta diferencia entre la posición de las barras virtuales y las reales.

En este caso se ha podido utilizar un modelo que contiene aproximadamente 300 elementos sin presentar alguna dificultad apreciable de procesamiento por parte del dispositivo móvil. Sin embargo, se presentaron inconvenientes para exportar desde Revit un modelo BIM de uno de los forjados de la obra debido al gran número de elementos que contiene.

Por último, a pesar de que el uso de los botones para activar y desactivar los elementos virtuales ayuda a diferenciarlos de los elementos, es recomendable definir una textura de un color llamativo que resalte la armadura virtual para prevenir confusiones.

Capítulo V: Conclusiones y Futuras Líneas de Investigación

Conclusiones del Proyecto

A lo largo del desarrollo de este trabajo de fin de máster se ha visto que la realidad aumentada es una tecnología en pleno crecimiento que posee la capacidad de incorporar modelos BIM en el entorno físico durante la etapa de ejecución de una obra de ingeniería.

En esta investigación se ha descrito la metodología para la creación de aplicaciones de visualización, partiendo de modelos BIM y proporcionando información de utilidad en el sector. En ella se han superado dificultades como el correcto posicionamiento, orientación y escala del modelo BIM en el entorno real, así como también presentado una interfaz de usuario fácil de usar que permite la visualización de diferentes partes de este modelo que pueden ser utilizado para ubicar elementos en el entorno o comparar el diseño con lo ejecutado.

Se ha implementado esta tecnología en el sector de la construcción a través del desarrollo de demostradores que permiten la visualización de modelos BIM a escala del edificio (maqueta virtual), posicionar el modelo a escala real sobre un espacio abierto para un recorrido virtual, visualizar los elementos ocultos de los sistemas de un edificio (estructura, mecánico y eléctrico) en su ubicación precisa y superponer la armadura pasiva de pilares sobre su contraparte real durante su inspección. Con estas aplicaciones se demuestra el potencial que tiene la tecnología actual de realidad aumentada para su uso en herramientas de utilidad que sirvan de apoyo para el entendimiento, evaluación y ejecución de la obra en el sector de la ingeniería, arquitectura y construcción.

A pesar de esto, es importante mencionar que con los resultados obtenidos se han podido identificar ciertos factores que afectan la calidad de la experiencia de realidad aumentada. En primer lugar, este método está sometido a la precisión de posicionamiento y orientación del modelo, así como a la calidad del modelo BIM que se vaya a utilizar. Además, requiere de una suficiente iluminación y de suficiente información visual para realizar el seguimiento del entorno.

Cabe destacar que el desarrollo de las estas aplicaciones de realidad aumenta han sido realizadas con software gratuito y dispositivos móviles de fácil acceso, por lo que se puede concluir que existen hoy en día las herramientas y tecnologías necesaria para implementar la realidad aumentada en la industria sin que esto represente un alto coste.

Finalmente, con este trabajo se plantea una metodología que combina los modelos BIM y la realidad aumentada como un punto de partida viable para el desarrollo de futuras herramientas que representen un apoyo visual en el futuro del sector de la construcción. Y se espera que, con el avance de las tecnologías, llegue a implantarse con éxito en la industria.

Futuras líneas de investigación

Con el desarrollo de esta investigación, se ha descrito una metodología para el desarrollo de herramientas de visualización en base a modelos BIM que pueden ser aprovechadas de diversas formas. Esto representa un punto de partida para el desarrollo de futuras líneas de investigación que puedan mejorar y hacer uso de estas habilidades en el marco de la construcción.

Entre las posibles líneas de investigación se plantean las siguientes:

- Durante la finalización de esta investigación, la compañía Vuforia ha sacado al mercado su última versión de su plataforma de realidad aumentada. Esta permite complementar el sistema de seguimiento de ARKit con la capacidad de detección de objetos y marcadores desarrollado por Vuforia. La implementación de ambas tecnologías puede representar una mejora en el sistema de seguimiento y de posicionamiento de los modelos virtuales.
- Del mismo modo, es de interés explorar la nueva tecnología ARCore desarrollada por Google para el uso de realidad aumentada en dispositivos Android, como competencia al ARKit de Apple.
- Implementación de sensores de localización (gps, bluetooth, etc.) que complemente los componentes de realidad aumentada para poder mejorar la precisión de los modelos en la realidad.
- Implementar un motor de reconocimiento de imagen que permita reconocer conflictos entre el modelo BIM y la realidad.
- Desarrollar o hacer uso de una plataforma en línea que contenga y de acceso desde una única aplicación de realidad aumentada, a todos los modelos BIM actualizados que puedan necesitarse durante la ejecución de la obra.

Por último, se plantean a continuación posibles usos de la tecnología de realidad aumentada en el futuro del sector de la construcción.

- Detectar conflictos entre el diseño y lo ejecutado.
- Visualizar plan de ejecución de la obra.
- Uso de realidad aumentada con Drones para tener acceso a lugares difíciles de llegar (puentes, grandes alturas, obras de gran tamaño).
- Ejecución guiada con realidad aumentada para trabajadores.
- Realizar mediciones de distancias.
- Generar información georreferenciada durante una inspección aumentada.
- Visualización de elementos subterráneos (tuberías, instalaciones geotérmicas, cimentaciones, etc.)

Referencias

- [1] Bargstädt, H. J. (2015) 'Challenges of BIM for construction site operations', *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 117(1), pp. 52–59.
- [2] Hardin, B. (2009) *BIM and construction management : proven tools, methods, and workflows*. Indianapolis, Indiana, US: Wiley Pub.
- [3] Bråthen, K. & Moum, A. (2015) 'Bridging the gap: taking BIM to the construction site', in *Proc. of the 32nd CIB W78 Conference 2015*, 27th-29th October 2015. Eindhoven, The Netherlands, pp. 79–88.
- [4] Autodesk, *What Is BIM | Building Information Modeling*. Disponible en: <https://www.autodesk.com/solutions/bim> (Último acceso: 30 Diciembre 2017).
- [5] Holness, G. V. R. (2008) 'BIM building information modeling: Gaining momentum', *ASHRAE Journal*.
- [6] Graphisoft, *Acerca de BIM*. Disponible en: https://www.graphisoft.es/archicad/open_bim/about_bim/ (Último acceso: 31 Diciembre 2017).
- [7] AIA (2007) 'Integrated Project Delivery: A Guide', *American Institute of Architects*, pp. 1–62.
- [8] Monfort, C. (2015) 'Impacto del bim en la gestión del proyecto y la obra de arquitectura.', p. 97.
- [9] SEYCSA (2016) *SERVICIOS BIM*. Disponible en: <http://www.seycsa.com/servicios/servicios-bim/> (Último acceso: 30 Diciembre 2017).
- [10] Koutsogiannis, A. (2017) *The Future Of Construction - BIM*, *GenieBelt Blog*. Disponible en: <https://geniebelt.com/blog/bim-maturity-levels> (Último acceso: 2 Enero 2018).
- [11] Sánchez, A. (2017) *BIM: MADUREZ - LEVEL 0/1/2/3 BIM*, *Espacio BIM*. Disponible en: <https://www.espaciobim.com/madurez-bim-level-0-1-2-3/> (Último acceso: 2 Enero 2018).
- [12] Autodesk, *Familia Revit*. Disponible en: <https://www.autodesk.es/products/revit-family/overview> (Último acceso: 2 Enero 2018).
- [13] ASIDEK (2017) *Novedades de Autodesk Revit 2018*. Disponible en: <http://www.asidek.es/novedades-autodesk-revit-2018/> (Último acceso: 2 Enero 2018).
- [14] Sánchez, J. (2016) *Augmented Reality, Virtual Reality and Mixed Reality - Present, Future, and Differences*. Disponible en: <https://accept-project.com/blog/index.php/2016/10/26/augmented-reality-virtual-reality-mixed-reality-present-future-differences/> (Último acceso: 7 Enero 2018).
- [15] Kaasinen, E., Aromaa, S. and Rauhala, V. *Augmented Reality Based Knowledge Sharing Solutions for Field Service Personnel*. Disponible en: <https://ercim->

- news.ercim.eu/en103/special/augmented-reality-based-knowledge-sharing-solutions-for-field-service-personnel (Último acceso: 7 Enero 2018).
- [16] Gamero, R. (2012) *¿En qué consiste la realidad aumentada?*, *Blogthinkbig*. Disponible en: <https://blogthinkbig.com/en-que-consiste-la-realidad-aumentada> (Último acceso: 7 Enero 2018).
- [17] IMASCONO TEAM (2017) *Tipos de Realidad Aumentada según sus formas de utilización*. Disponible en: <http://imascono.com/es/magazine/realidad-aumentada-segun-utilizacion> (Último acceso: 8 Enero 2018).
- [18] Vuforia, *Vuforia's Developer Library*. Disponible en: <https://library.vuforia.com/> (Último acceso: 8 Enero 2018).
- [19] Boxall, A. (2017) *Spent too long in duty free? Airport uses AR maps so you won't miss your flight*, *Digital Trends*. Disponible en: <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/gatwick-airport-augmented-reality-maps-news/> (Último acceso: 8 Enero 2018).
- [20] Buerli, M. & Misslinger, S. (2017) 'Introducing ARKit: Augmented Reality for iOS'. San Jose, California, USA: Apple. Disponible en: <https://developer.apple.com/videos/play/wwdc2017/602/> (Último acceso: 2 Enero 2018).
- [21] Apple, *ARKit, Apple Developer*. Disponible en: <https://developer.apple.com/arkit/> (Último Acceso: 10 Enero 2018).
- [22] Coss Henning, O. de (2017) 'Realidad aumentada aplicada a la construcción'. Universitat Politècnica de Catalunya. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/105654> (Último acceso: 10 Enero 2018).
- [23] Unity Technologies (2017) 'Unity ARKIT Plugin Scenes'. Unity Technologies. Disponible en: <https://www.assetstore.unity3d.com/en/#!/content/92515>.
- [24] España. Ministerio de Fomento. (2008) *Instrucción de hormigón estructural: EHE 08*. Madrid, España: Secretaría General Técnica.